GEOLOGIA D'ITALIA
G. NEGRI - A. STOPPANI - G. MERCALLI
PARTE SECONDA
L'ERA NEOZOICA
PER
ANTONIO STOPPANI
EDITORE
DOTT.RE FRANCESCO VALLARDI
MILANO VIA DISCIPLINI N.o 15

I.

EMERSIONE DELLA PENISOLA ITALICA DURANTE L' ÊRA CENOZOICA

La storia geologica dell'Italia abbraccia due grandi êre. La prima veramente immensa, la cui durata spaventa l'imaginazione, si potrebbe chiamare *êra marina*. Essa comprende le epoche *protozoica, paleozoica, mesozoica,* ed invade anche buona parte dell'epoca *cenozoica*, numerando così tutta quella gran serie di terreni che i geologi distinsero coi nomi di *protozoici, cambriani, siluriani, devoniani, carboniferi, permiani, triasici, giuresi, cretacei;* e un poco anche dei terreni *terziarî*. Sono milioni e milioni di anni, durante i quali, sull'area istessa dove ora si rizzano al cielo le vette biancheggianti di nevi eterne, come su tutta la Penisola e su quasi tutte le aree occupate dagli attuali continenti, si distendeva l'immenso mare. Gli antichi fiumi, sbranando ignoti continenti e abbandonandone i brani alle foci; miriadi infinite di organismi secretori, assimilando i sali calcari costituenti la perenne salsedine marina; i vulcani stessi, rigettando in mare le loro lave infocate, che furono poi distinte coi nomi di graniti, di sieniti, di dioriti, di porfidi, di serpentini, ecc.; andavano maturando questo grande portato dell'Oceano, sopra un fondo instabile, ondeggiante più del mare che lo ricopriva. A volte a volte effimere terre, montagne destinate a rituffarsi in mare dopo un certo giro di secoli, rompevano l'uniformità di quell'Oceano antico. La storia di quest'Italia *sottomarina* leggesi ora sugli strati asciutti, composti di conglomerati, di arenarie, di schisti, di calcari; leggesi sulle infinite reliquie organiche, di cui quegli strati sono sovente un impasto; leggesi finalmente su quelle rocce eruttive, che a mille riprese o traforano e intersecano gli strati, o alternano con essi. È questa storia dell'*Italia sottomarina* che fu esposta con tanta ricchezza di particolari, e con tanta ampiezza di vedute dal mio collega Gaetano Negri nella *Parte prima* della *Geologia d'Italia*, che contiene appunto la descrizione dei terreni, che, deposti originariamente in seno all'Oceano che copriva l'Italia, formano ora l'ossatura dell'Italia sollevata.

La seconda êra, assai più breve relativamente, benchè lunghissima per sè, può chiamarsi *êra continentale*. Essa abbraccia, ma non tutta, l'epoca *cenozoica*, poi la *neozoica* e l'*antropozoica;* comprende cioè una gran parte dei terreni *terziarî* (il *miocene* e il *pliocene*) quindi i *quaternarî*, cioè il *terreno glaciale* co'suoi equivalenti, e i terreni *antropozoici*, cioè contrassegnati dalle reliquie dell'uomo e dell'umana industria. L'*epoca cenozoica* si apriva quando il mare adeguava ancora colle sue onde le immense aree dei nostri continenti. La Spagna, la Francia, tutta l'Africa settentrionale dal Marocco all'Egitto, la Persia, l'India, la China, il Giappone, quasi tutte insomma le grandi regioni dell'antico e del nuovo continente, o

giacevano sommerse, o non emergevano che allo stato di primi rudimenti. Primi rudimenti delle future terre erano le maggiori vette, appena emergenti, dei Pirenei, de' Carpazî, dell'Himalaya. Anche le Alpi e gli Apennini si trovavano già allora a sporgere il capo dall'onde: ma le montagne, che vantano al presente una elevazione da 4000 a 4400 metri, non raggiungevano che un'altezza di 1900 metri o giù di lì. Così era nel *periodo eocenico.* Sulla fine di esso quasi un palpito potente agita le viscere del globo. Col *miocene* le montagne, formanti altrettante isole nell'oceano, si alzano maestose; minori catene le congiungono le une alle altre; le nuove terre si dilatano, si popolano di animali, si vestono di dense foreste. Col *pliocene* i continenti esistono; esiste l'Italia. I nostri continenti sono ancor mozzi in più parti; ma esistono; e i loro grandi rilievi già accusano quasi perfette le forme, sotto le quali si presentano ai nostri occhi. Anche le Alpi, anche gli Apennini, hanno preso il loro posto, e l'oceano respinto disegna quei mari, quei golfi, che saranno più tardi nominati dall'uomo, e solcati dalle sue navi.

L'*êra continentale* dell'Italia, cioè il lungo periodo della storia della sua reale costituzione, la quale comincia colla sua apparizione verso il mezzo dell'eocene, e continua fino ad oggi, forma il soggetto del presente volume. Il volume del Negri, il quale termina collo spirare dell'*êra marina,* mi lascia interamente libero questo splendido campo. È vero che egli descrisse anche i terreni dell'*epoca cenozoica*, cioè i terreni terziarî compreso il *pliocene,* i cui limiti alle basi delle Alpi e degli Apennini, disegnano l'Italia già fatta, già sorgente quasi per intero da' suoi due mari. Ma il Negri, anche dove spinge lo sguardo quasi furtivo ai più recenti vulcani che venivano divampando alle falde occidentali della Penisola, dilatandone e compiendone il rilievo, non si scostava dal mare, rincorrendolo fuggente da lidi, che sempre, più si andavano estendendo, finchè lasciollo entro i suoi confini attuali, e terminò la sua storia.

Ripigliando la storia geologica dell'Italia dove il Negri l'ha lasciata, mi resta, come dissi, tutta quella parte che riguarda la sua formazione come porzione di un gran continente, e quella principalmente che riguarda i grandi fenomeni di cui divenne teatro, dal momento che si sottrasse al dominio dell'onde, per divenire

> il bel paese,
> Che Apennin parte e il mar circonda e l'Alpe.

Ciò mi obbligherebbe naturalmente a rimontare almeno fin verso il mezzo dell'epoca eocenica, poichè è allora che si decise definitivamente quel sollevamento a cui l'Italia deve la sua esistenza, e che progredì nelle epoche seguenti, fino ad acquistare quel rilievo e quelle forme che essa in oggi presenta.

Ma, per sventura, oltre il semplice fatto della sua emersione, poco sappiamo circa il modo con cui questa si compì; poco sappiamo delle diverse fasi e delle infinite evoluzioni per cui dovette passare l'Italia per essere ciò che è in oggi. Certamente una cognizione più perfetta della costituzione geologica dell'Italia, e specialmente dei terreni o terrestri o marini, che si formarono a partire dal primo periodo di sollevamento (su per giù dall'epoca eocenica) ci potrà condurre passo passo dietro il graduale svolgimento del nostro paese, sicchè possiamo additare in mezzo all'antico mare il primo scoglio, la prima isoletta, su cui stava scritto *Italia,* e tener dietro a quello scoglio, a quell'isoletta mano mano che si eleva, si dilata, si gemina, si moltiplica, forma montagne e catene di montagne, e tutta una terra, una grande penisola. Ma non è colpa di chi scrive se le Indie e il Canadà hanno una carta geologica, mentre l'Italia non ne ha una nemmeno avviata. Per buona ventura un agente, forse nuovo per la natura tellurica, appare ad un certo punto dalla storia continentale, ed esercita la sua possa precisamente sulla superficie dei continenti. L'Italia è uno dei suoi regni, ove si rivelò maggiormente la sua potenza, ove più vaste e più profonde si impressero le sue orme. Questo agente è il ghiaccio. Esso viene a dar l'ultima mano all'opera del sollevamento. L'Italia non è ancora che un rude ammasso di sterili monti; esso lo converte in distesa di terre feraci. Col *periodo glaciale* col quale

ha principio l'*êra neozoica*, comincia dunque, propriamente parlando, la storia dell'*êra continentale* dell'Italia. Questo periodo è quello in cui la regione alpina sta per rompere, dirò così, ogni rapporto col mare, ed acquista quei tratti che ne costituiscono la fisonomia speciale: è il periodo a cui deve le sue eccezionali bellezze, che ne fanno una delle regioni più incantevoli del globo: il periodo insomma de' suoi laghi azzurri, delle sue colline ridenti, de' suoi piani ubertosi. Decisi o piuttosto costretti dalle condizioni attuali della scienza a cominciare la storia geologica dell'Italia continentale dall'êra neozoica, e precisamente dal periodo glaciale; premettiamo soltanto alcuni cenni sul graduale sviluppo di queste regioni avanti il periodo suddetto, partendo dal principio dell' *epoca cenozoica* o *terziaria*. Richiamando con ciò i fatti principali già esposti dal mio collega nella *descrizione dei terreni* (e non crediamo inutile questo richiamo) cercheremo di concentrare maggiormente, anzi unicamente, l'attenzione del lettore sul fatto della emersione graduale dell'Italia, e sul modo con cui si effettuò, fino al punto in cui il nostro paese, assunte ad un di presso le attuali sue forme orografiche, potè divenire teatro dei grandi avvenimenti di cui in ispecial modo narreremo la storia.

Abbiamo detto che le Alpi e gli Apennini erano appena accennati al principio dell'epoca cenozoica o terziaria. Durante il periodo eocenico con cui si apre quest'epoca, le Alpi non formavano che un gruppo d'isole sorgenti in mezzo all'oceáno che ricopriva l' Europa. Questo gruppo non impediva la libera comunicazione fra le acque che ricoprivano l' Italia a sud e la Svizzera a nord. Le conchiglie che guernivano le coste delle isole vulcaniche del Vicentino potevano liberamente propagarsi nel Vallese, dove in oggi si trovano fossili entro le rocce che si inalzano sul gruppo elevatissimo dei Diableretz. I calcari nummulitici dell' eocene medio, formazioni eminentemente marine anzi di libero mare, dicono che l'Oceano si dilatava libero ancora sulla massima parte dell' Italia, e veniva a sfogar le sue ire contro gli scogli, contro le isole rocciose, ora vette di monti coperte di eterne nevi, che disegnavano in genere la futura penisola.

Il mare non copriva soltanto la Lombardia ed il Piemonte, ma si spingeva fino ai rilievi più interni delle Alpi stesse, come lo mostrano i citati grès di Tavigliana, nel citato gruppo dei Diableretz nel Vallese, contenenti le ceneri, i tufi e le conchiglie del Vicentino, e come lo mostrano i calcari nummulitici della Maurienne al di là del Cenisio. Le Alpi principali, e nominatamente il gruppo del Monte Bianco, non potevano dunque esistere allora che allo stato embrionale.

Procedendo dai paesi settentrionali d'Italia verso gli orientali, seguendo la cerchia attuale delle Alpi, i calcari nummulitici intorno al lago di Garda, sviluppatissimi tra Desenzano e Salò, e i terreni marini ancora più recenti della penisola di Sirmione e di Riva di Trento, mostrano che anche da quella parte le Alpi erano appena abozzate, e che il mare si distendeva ancora sopra una gran parte delle aree occupate ora dalla Venezia e dal Tirolo. In luogo di quelle aspre giogaje, di quei colli, di quelle pianure, voi avreste veduto in allora sollevarsi le onde di un libero mare, seminato di isole ardenti, formanti quell'arcipelago vulcanico che nel Veronese e nel Vicentino anticipava i fenomeni e le condizioni per cui sono ora così celebri l'Italia meridionale e le isole della Sonda.

I vulcani degli Euganei ardevano nell' *epoca cretacea*. Quelli del Vicentino cominciarono ad erompere sulla fine dell'epoca stessa, come lo attestano i tufi vulcanici marini di Spilecco, contenenti pesci in gran numero, e conchiglie marine. Essi segnano quasi un periodo intermedio tra l'epoca cretacea e la terziaria.

Con foga crescente continuarono a eruttare durante l' epoca nummulitica propriamente detta, e prodotti di quell'eruzione sono i tufi e i basalti, che, uniti ai calcari marini, formano un complesso di grande potenza, che rese celebri le località fossilifere del M. Bolca, di Noale, Malo, Montepostaro, Brusaferri, Vallecco, Magrè, S. Gio. Ilarione, Ciuppo, Castione, Montenegrone e Roncà. I depositi del M. Bolca, mirabili per quella quantità di pesci, dalle forme più svariate, ottimamente conservati, e disseminati in tutte le collezioni d' Europa, riposano immediatamente sopra gli strati della creta. Nulla potrebbe meglio rappresentare

un arcipelago di vulcani. I tufi vulcanici e le rocce vulcaniche alla base, racchiudono un banco di conchiglie marine, cioè di Terebratule. Gli strati marnosi, contenenti i celebri pesci, accusano il mare che veniva a distendersi di nuovo, dopo una serie di eruzioni, sulle correnti di lava e sui letti di ceneri e lapilli. Ma al tempo stesso le piante fossili, conservate in quegli strati marini, accennano le terre, le lagune e i laghi vicini. In quelle piante in fatti, che sommano fino a 232 specie, se ne distinguono di marine, di terrestri, di acqua dolce, e di acqua salmastra. Quella flora ci disegna, per così dire, dal vero, quelle isole veronesi. Sono isole ombreggiate da palme e da cocchi, ridenti di una flora tutta tropicale, paragonabili per ciò specialmente alle isole dell' India ed all'Australia (1). Nuove rocce con mummuliti ricoprono gli strati a pesci e piante fossili, quindi nuovi tufi e nuovi basalti, prodotti di più recenti eruzioni. Anche i tufi di Roncà rispondono all'idea di un arcipelago vulcanico. Quì le terre si mostrano ancora più vicine, anzi in posto. Le ligniti, e gli altri depositi, associati ai tufi basaltici, disegnano in quei posti laghi e lagune, abitati da conchiglie d' acqua dolce, da tartarughe, da cocodrilli, e cinti da basse terre, adombrate da foreste di palme. Per avere un' idea di quelle vergini foreste che adombravano quelle instabili terre, destinate a fissarsi più tardi e a divenire una delle regioni più belle dell'Italia nostra, bisogna osservare le spendide reliquie dissepolte dagli strati di Noale, Chiavon e Salcedo nel Vicentino. Sono una maraviglia a vedersi quelle palme affatto intere, con foglie, tronco e radici, che il Conte Piovene raccolse nella sua villa presso Salcedo. Si contano almeno 10 specie di palmizî, alcune con foglie a ventaglio, altre con foglie pinnate, lunghe fino a 10 piedi. A quelle piante d' un clima tutto indiano, altre si associavano d'una fisonomia che già direbbesi italica, come cipressi, graminee, olmi, lauri, mirti, tigli, noci ecc.

Più verso oriente l'Italia scompare di nuovo sotto l'Oceano. Nemmeno un' isola che la accenni. Gli strati, che rappresentano l' eocene nel Friuli, sono tutti marini, cioè conglomerati di rocce cretacee, con rudiste dell' epoca cretacea, e di proprio piccole foraminifere; marne con alveoline; puddinghe quarzose con arenarie, calcari, marne e banchi di corallo. Queste rocce rigurgitano di nummuliti, di conchiglie marine, di ricci marini e di coralli d'ogni specie. Ad esse si sovrappongono altre marne, poi brecciole di tritume organico, poi marne o arenarie a fucoidi, che sempre, come dissi, affermano la presenza del mare su quella vasta provincia. Lo stesso mare ricopre ancora l'Istria e la Dalmazia. Possiamo dunque conchiudere che durante l'epoca eocenica l'Italia subalpina non era rappresentata che da qualche scoglio e da un gruppo di isole vulcaniche, il quale occupava la regione divisa al presente fra il Tirolo, il Veronese e il Vicentino. Le Alpi stesse non riducevansi che ad alcune scogliere sorgenti fra i due oceani, che si dilatavano l'uno a nord e l'altro a sud sopra la massima parte del continente europeo.

Sotto forma ancor più modesta si mostrava allora l' Italia peninsulare, trovandosi gli Apennini in uno stato ancora più rudimentare. L' Apennino settentrionale scompare quasi affatto, se ne leviamo le formazioni marine che i geologi ascrivono all' eocene, o a periodi più recenti di esso. Sotto il mare che copriva l' Apennino nelle regioni più prossime alle Alpi nascenti, si generavano i calcari, le puddinghe e le arenarie di Nizza e della valle della Stura, poi le arenarie, i calcari e gli schisti che formano ora le cime più alte dell' Apennino ligure e toscano, e raggiungono l' altezza di 2000 metri nelle montagne della Lunigiana; poi le argille schistose, i calcari argillosi o compatti, che sorgono ora fino a 1700 metri sul livello del mare, separando i versanti della Scrivia da quelli della Trebbia; finalmente i conglomerati con arenarie, ricchi di nummuliti, di conchiglie e coralli, che compongono le montagne di Portofino, e sugli opposti versanti costituiscono una zona quasi continua, entro la quale sono scavati i bacini idrografici del Tanaro, della Bormida e della Scrivia. Nelle stesse condizioni era la Toscana, il cui Apennino è composto di terreni marini con nummuliti, crinoidi, denti di squali e

(1) Heer, *Recherches sur le climat et la végétation du pays tertiaire.*

altre reliquie d'una fauna marina, che si scavano principalmente a Masciano, Pontassieve, Selveno, Consumo, Barga, Gassino, Ripafratta ecc.

Continuando verso l'estremità meridionale della penisola, ben difficilmente troveremo uno scoglio che rappresenti l'Italia nell'epoca eocenica. L'Apennino centrale e meridionale, se prescindiamo da rilievi di carattere alpino, composti di terreni più antichi, può considerarsi come una catena terziaria, composta cioè di terreni formatisi sotto il mare in quest'epoca. Il terreno nummulitico vi predomina. Sono nummulitiche p. es. le montagne di Urbino, e della repubblica di S. Marino; nummulitiche in gran parte le alte montagne di Teramo, degli Abruzzi e della Capitanata; nummulitiche le isole Tremiti, dipendenti dal Gargano; nummulitiche, o composte di terreni ancora più recenti, le montagne delle Calabrie. Quanto alle grandi isole italiane esse non presentano, relativamente parlando, uno sviluppo maggiore di quello, che abbiamo osservato nell'Italia continentale. I terreni eocenici marini si conoscono in Sicilia, e sono molto sviluppati nella metà orientale della Corsica, e in diverse località della Sardegna. La massima parte di quelle isole è formata del resto di terreni ancor più recenti dell'eocene, levando i quali non rimarranno più che alcuni scogli a rappresentarle al principio dell'epoca eocenica.

Se il lettore vuol dunque conoscere l'Italia dell'epoca eocenica, ci riuscirà più presto col rappresentarsi ciò che di essa mancava piuttosto che col cercare ciò che in realtà ne esisteva. Insomma, salvo alcune isole e alcune scogliere, saggi o promesse dell'italica terra, degli Apennini e delle Alpi, bisogna distuggere l'Italia, sommergerla in mare, per conoscere ciò che l'Italia fosse in quei tempi, che pure il geologo non può chiamare antichi. Questo però va pigliato abbastanza alla lettera soltanto quando si rimonti al principio, o anche verso il mezzo dell'epoca eocenica. Nel mezzo di quest'epoca appunto si deponevano i calcari nummulitici, i quali si elevano nelle Alpi fino all'altezza di 3000 metri sopra il livello del mare (1), e nell'Apennino raggiungono forse i 2000 metri. Ciò vuol dire che le Alpi e gli Apennini erano ancora sommersi nel mare le une fino all'altezza di 3000 metri almeno, gli altri fino all'altezza di 2000 metri. Quali montagne si alzano oltre i 3000 metri nelle Alpi ed oltre i 2000 nell'Apennino? Verso il mezzo dell'eocene dunque non soltanto le pianure e i colli d'Italia, ma in massa gli Apennini, le Prealpi e le Alpi doveano essere sommersi. Tutti i passi alpini dovevano essere sommersi del pari. Le nostre grandi catene non potevano essere rappresentate che da scogliere e da isole, che se già dividevano i mari del nord dai mari del sud, non potevano impedirne la comunicazione. Verso la fine però dell'eocene si determina visibilmente quella spinta vigorosa e continua, a cui devono la loro esistenza, l'Italia non solo, ma l'Europa, anzi tutti i continenti aggruppati intorno al polo artico. Al principio dell'epoca miocenica i rilievi primordiali si erano ingranditi d'assai, e le massime cime avevano già acquistata un'altezza di 2000 a 3000 metri sopra il livello del mare. Tuttavia, siccome il miocene si eleva nelle Alpi fino a 1800 metri (2), bisogna dire che fino a quell'altezza erano ancora sommerse le nostre montagne. Anche ristandoci ai soli versanti italiani, dove il miocene marino non sorpassa forse l'elevazione di 500 ai 640 metri (3), appare però sempre che le pianure, i colli e la prima serie delle montagne negli Apennini e nelle Alpi erano ancora sommersi. Tuttavia la penisola italica e la cerchia alpina, da cui si spicca, si disegnavano già nettamente, e nettamente si disegnavano, benchè assai più vasti e probabilmente fra loro comunicanti, l'Adriatico e il Tirreno. In quei due mari si deponevano quei terreni multiformi, che costituiscono ora molte delle nostre colline alla base degli Apennini e delle Alpi.

(1) Nelle Alpi svizzere le rocce nummulitiche si elevano fino a 2400 metri sulle cime delle Vergy. secondo i calcoli di Favre, e a 3052 metri sui Diableretz. Nelle Alpi Grigione l'elevazione dell'eocene è assai maggiore. Theobald ne trovò composta la cima del Biffertenstock, che si eleva fino a 3425 m.

(2) L'altezza di 1800 m. assegnata al miocene è quella del Rigi, il quale è composto di quel conglomerato miocenico, che gli Svizzeri chiamano *Nagelfluh*.

(3) Nel Piemonte il miocene giunge fino all'altezza di 642 m. La piccola catena di Monteolimpino fra Como e Varese, composta di conglomerati miocenici, si eleva fino a 561 m.

Nella Lombardia il miocene è rappresentato principalmente da quei conglomerati miocenici di cui abbiamo già parlato. Confrontando questi conglomerati con quelli già accennati sugli opposti versanti delle Alpi, che gli Svizzeri chiamano *Nagelfluh*, noi possiamo formarci un'idea delle condizioni in cui si trovarono le nostre regioni subalpine nell'epoca miocenica. Poderose fiumane scendevano dagli opposti versanti. Sui versanti settentrionali delle Alpi quegli ammassi enormi di *Nagelfluh*, composti di ciottoli rotolati, di gneiss, graniti, porfidi, serpentini, quarziti, micaschisti, schisti amfibolici, calcari, disegnano le precipitose correnti che, scendendo dalle Alpi e dalle Prealpi, dilatarono i loro delta nel golfo della Svizzera occupata dal mare. È difficile fino ad oggi di formarsi un'idea della costituzione orografica delle Alpi sui versanti italiani, sopratutto nella Lombardia. Certo è però che i fiumi lombardi non scendevano al mare per quelle vie che si sono in oggi aperte. Il mare che occupava la Lombardia fino al piede delle Prealpi calcaree di Varese e di Como, si prolungava col golfo che ricopriva il Piemonte, comprendendo ne' suoi dominî i colli di Torino e le valli della Bormida e della Scrivia. Da quella parte, cioè da occidente, e precisamente dalle Alpi del Piemonte, scendevano i grandi fiumi alpini e i brani, staccati dalle Alpi del Biellese, trascinati dalle correnti verso oriente, si dilatavano a poco a poco sopra il fondo argilloso del golfo fino a Como e di là fin verso i confini occidentali della Brianza. È questo ormai un fatto stabilito, dacchè venne dimostrato, col consenso dei geologi lombardi e piemontesi, che i conglomerati, formanti la catena di colline staccate che da Camerlata, Castel Baradello e S. Fermo si spingono non interrotte fino al lago Maggiore, sono composti di ciottoli provenienti dal Biellese, ammucchiati sopra marne argillose, con conchiglie marine (1). Questo fatto è importantissimo come quello che ci assicura che, durante l'epoca miocenica, non esisteva nessuna comunicazione fra la regione interna delle Alpi ora percorsa dalle grandi valli del Ticino e dell'Adda coi rispettivi laghi Maggiore e di Como, e il mare che giungeva fino al piede delle Alpi stesse, precisamente sulla linea delle montagne calcaree che si accompagnano da Como fino al lago Maggiore, continuandosi poi colle montagne del Piemonte.

L'alta Lombardia e i paesi occidentali e settentrionali del Piemonte a' piè delle Alpi erano dunque una regione di delta, nutriti da antichi torrenti che, per vie ancora ignote, mettevano foce in mare immediatamente, abbandonando alle foci il più grosso detrito, composto di ciottoli ed assai anche di massi voluminosi (2), mentre il detrito minore, composto di sabbie e di fanghi, era portato e distribuito dal mare lontano dalle stesse foci, in direzione da ovest a est, nello stesso senso, cioè, in cui si prolunga l'attuale pianura, edificata dal Po co' suoi mille confluenti, succedanei di quei primi torrenti alpini. Così fin d'allora s'andava formando, alle spese dell'antico Adriatico, una pianura piemontese-lombarda, che si era già spinta dalle Alpi del Piemonte fin verso i confini orientali della Lombardia. Già sui fanghi e sulle sabbie che, nel processo descritto, dovevano pei primi aver raggiunti i confini occidentali della Lombardia, si deponeva secondo il grossolano detrito di ciottoli e di massi. Ciò è tanto vero che al di sotto dei grossolani conglomerati, i quali costituiscono le colline fra Camerlata e Montolimpino, si trovano delle marne con conchiglie marine (3). Ma la formazione di quella pianura miocenica venne interrotta da quel potente sollevamento, in forza del quale fu così profondamente modificata

(1) Il primo ad accorgersi della provenienza dal Biellese dei ciottoli componenti la puddinga delle colline fra Camerlata e Chiasso fu il compianto Emilio Spreafico. Il prof. Bart. Gastaldi di Torino convenne perfettamente nel riconoscere una tale provenienza, nell'occasione che visitammo insieme quei dintorni nella primavera del 1874.

(2) In un letto di conglomerati appena sopra Camerlata, giacente fra il conglomerato comune e alcuni strati di arenaria, appartenenti allo stesso conglomerato, si trovano massi di granito rotolati, che avranno almeno un diametro di 50 centimetri.

(3) Le marne di cui si parla si scoprono precisamente alla base del conglomerato di Montolimpino nel letto del torrentello che discende da Montolimpino a Como sulla linea del *tunnel* della ferrovia da Como a Chiasso. Il tronco orientale di esso tunnel è scavato appunto in queste marne.

l'orografia delle Alpi e delle Prealpi, e la stessa pianura, coi fondi marini sottoposti, venne ad aggiungere un nuovo gruppo di montagne alle montagne preesistenti. Un saggio di queste nuove montagne ci è offerto appunto da quella catena di colline, già più volte citata, che dal castello Baradello si spinge da est a ovest fin presso a Varese. Intanto parziali torrenti precipitavano dalle Alpi già sorgenti a settentrione dell'attuale pianura lombarda ancor tutta coperta dal mare. A uno di questi torrenti deve attribuirsi p. es. il conglomerato fra Palazzolo e Brescia, molto simile a quello di Montolimpino, e che, sollevato pure a suo tempo, costituisce il Montorfano bresciano. Un altro conglomerato, derivato certamente da Prealpi calcaree, che già sorgevano a nord di Brescia, è quello che forma attualmente le colline di Badia a nord-ovest della nominata città.

Quei colli risultano della più curiosa associazione di rocce diverse, le quali possono ridursi ai seguenti tipi: 1.º Puddinga a cemento calcareo, composta di ciottoli calcarei in gran maggioranza, e di ciottoli di quarzo. Offre molte varietà, variandone gli elementi dal grano fino al ciottolo arrotondato di 10 cm. e più di diametro. 2.º Calcare compatto, bianco-sporco, con conchiglie terrestri (*Helix, Ciclostoma* ecc.), che passa alla varietà seguente. 3.º Calcare bianco-sporco o biancolatte, pulverulento, con concrezioni calcaree. 4.º Marne argillose, cineree, della morbidezza della vera argilla, con *Helix* quasi allo stato di ferro idrato.

Benchè tutte le indicate rocce formino masse considerevoli, e tutte siano più o meno evidentemente stratificate, non trattasi quì di quella regolare successione e sovrapposizione di strati e di formazioni, che nella maggior parte dei casi indica agenti diversi in epoche distinte. Invero, chi studii quei colli, vedrà che si tratta piuttosto d'una justaposizione, anzi quasi d'una miscela di quelle rocce di indole diversa. La puddinga domina in tutti quei colli formanti una piccola catena da nord-ovest a nord-est. Il calcare, talora compatto, talora terroso, se qui si isola in masse poderose, là sembra invadere i confini della puddinga a cui diviene cemento. Le marne argillose poi si trovano in tali rapporti colla puddinga e col calcare, che direbbonsi il calcare, stesso più impuro, ossia misto a fanghiglie argillose. Meritano speciale considerazione le conchiglie terrestri, sparse abbondantemente nelle calcaree e nelle marne, e più ancora le concrezioni proprie del calcare terroso. Consistono esse in copia stragrande di corpi pisolitici, irregolari, cilindrici, ovali, subsferici, della grossezza fin d'un'ordinaria patata, e che si piglierebbero talora per monconi d'ossa cilindriche di mammiferi. Constano d'una crosta calcarea durissima, d'indole stalattitica, con una cavità centrale piena di marna calcarea, d'aspetto argilloso, che fa viva effervescenza coll'acido nitrico. Come spiegare quel complesso di fenomeni? Parmi che la natura di quelle formazioni risponda sufficientemente al quesito.

Le colline di Badia rappresentano un'antica formazione di estuario, probabilmente marino, non conoscendosi in quei dintorni alcun deposito lacustre. La fiumana giungeva al mare colla forza sufficiente per recarvi quei ciottoli di un diametro considerevole, da cui risultavano masse poderose di conglomerato incoerente. Ma nello stesso tempo, e probabilmente dallo stesso fondo marino, sgorgavano sorgenti ricchissime di carbonato di calce, il quale, rimanendo libero più o meno rapidamente, secondo il più o men rapido svolgersi del gas acido carbonico e dell'evaporazione, precipitavasi o lento e compatto, o lesto e terroso. Nell'un caso e nell'altro involgeva i ciottoli torrenziali, e ne formava una puddinga compatta o un conglomerato incoerente, ovvero dava origine egli stesso a depositi di calcare o compatto o polverulento. Le conchiglie terrestri, che venivano galleggiando giù per la corrente, quando sfuggissero all'urto del grossolano detrito, venivano rapidamente investite dal calcare incrostante e protette in seno ai depositi calcarei. Il calcare stesso, mescolandosi alle fanghiglie fluviali, formava delle marne calcaree. Le forme pisolitiche sono suggello al suesposto. Noduli marnosi, mossi o tenuti in sospensione dai getti delle sorgenti, servivano di centro, intorno a cui si deponeva, nella sua maggiore purezza, la sostanza calcarea; e ruzzolati sul fondo dalla corrente, assumevano quella forma cilindrica, che caratterizza la maggior parte di quelle grossolane pisoliti.

Quelle copiose sorgenti del littorale miocenico, cariche in eccesso di gas acido carbonico, e i basalti associati al conglomerato miocenico del non lontano Montorfano di Brescia, si direbbero un primo preludio di quell'attività vulcanica, che dobbiamo incontrare ancor viva e potente in quest'epoca al di là del lago di Garda. Ma non ci arriveremo, prima d'aver osservato un'altra gran massa di conglomerati miocenici grossolani, superiormente alle marne, costituenti gli uni e le altre il poggio rilevato all'estremità della penisola di Sirmione. Quei conglomerati, ricchi di porfidi del Tirolo, accusano un'altra valida corrente, che discendeva dalle Alpi tirolesi già emerse, e avanzava il suo delta sulle marne, ossia sui fanghi del mare, che si stendeva ancora dove si inabbissa al presente il lago di Garda. Continuiamo la nostra rivista verso oriente.

Abbiamo lasciato le provincie del Veronese e del Vicentino che, dal principio alla fine dell'epoca eocenica, formavano un arcipelago vulcanico, ridente di una flora tropicale. In questo stato su per giù troviamo ancora quelle provincie al principio dell' epoca miocenica. Infatti, sopra gli strati, contenenti la celebre flora di Salcedo, già accennata e che già presenta molti caratteri della flora miocenica (1), riposano quelli del *gruppo di castel Gumberto*, composto di calcari marini molto fossiliferi, a cui si associano, da una parte i tufi vulcanici, testimonî non dubbî della persistente attività dei vulcani vicentini, dall'altra le ligniti di Monte-Viale, indizî parlanti della rigogliosa flora che ombreggiava quelle isole vulcaniche. Compreso nel gruppo di Castel-Gumberto ritengo del resto la flora vicentina di Zovencedo, che accenna un littorale marino, confinato da maremme boscose, d'un carattere subtropicale. Al di là dell'arcipelago vulcanico il mare si stendeva ancora libero sulle provincie del Friuli, finchè andava ad urtare contro gli scogli già elevati dell' Illiria e della Dalmazia.

Queste dunque erano le condizioni della attuale regione subalpina, dal Piemonte all'Istria, rimanendo del resto ancora impossibile, per difetto di studî sufficienti, di segnare i confini del mare, e la configurazione delle Alpi, contro le quali il mare andava a frangersi, ricoprendo tutta la zona delle pianure, degli altipiani e dei colli dell'Alta Italia.

Pigliandosi ora ad osservare gli Apennini, primieramente dove si spiccano dalle Alpi, noi vi troviamo ancora coperti dal mare i colli di Torino, nominatamente quello di Superga, celebre per la ricchezza della sua fauna marina miocenica. Di là certamente il mare si spingeva fino al piede delle Alpi, invadendo anche le così dette Langhe, cioè la regione attualmente attraversata dalle valli del Belbo. e della Bormida, nelle quali sono assai sviluppate le arenarie fine, che riposano sopra il terreno nummulitico del Piemonte. Occupata dal mare era pure la valle della Scrivia, dove le suddette arenarie attingono uno sviluppo ancor maggiore, e furono più tardi sollevate fin verso i 600^{m} d'altezza. Sulle arenarie si posano poi le marne grigie, sabbiose, giallastre di Serravalle, le quali, ricche di testacei marini, indicano diuturno il soggiorno del mare sulla Liguria. La Carta geologica d'Italia del Collegno indica assai bene da quella parte un gran golfo miocenico, che ricopriva la Liguria e il Piemonte fino al piede delle Alpi, e venne in seguito in parte prosciugato dal sollevamento, e in parte colmato da successivi depositi, finchè scomparve nell'epoca pliocenica.

Si disegnavano però intanto nell' interno o sui lidi di quel golfo miocenico isole e maremme, belle di una flora ricchissima, a cui si devono le ligniti del Piemonte e della Liguria. Appartengono a quest'epoca le ligniti di Stella, S.^{ta} Giustina, Derbo, Noceto, Bagnasco, Cairo e Cadibona. Nella lignite di quest'ultima località si scoprirono gli *Antrocoteri* e i *Rinoceronti*, di cui occupossi il prof. Gastaldi. Quanto alla flora si direbbe una propagine di Salcedo nel Vicentino, ai limiti dell'eocene col miocene. Agli strati lignitici del resto si associano strati

(1) La flora vicentina di Salcedo enumera le specie del miocene inferiore del Piemonte, e 49 del primo piano della molassa svizzera, parimenti riferita al miocene inferiore. I suoi palmizî però, quando non accusassero semplicemente un clima più caldo di quello che regnava nella Svizzera e nel Piemonte, imprimerebbero a quella flora il carattere d'una maggiore antichità.

marini ricchissimi di fossili, e banchi di conglomerati torrenziali, dai quali appare evidentemente come su quegli instabili littorali si alternassero, colle lagune torbose e le boscose maremme, le onde del mare e i delta degli alpini torrenti.

Girando la penisola (probabilmente un'isola allora o una catena di isole) verso mezzodì, c'imbattiamo in altre maremme boscose, assai più recenti, che si distendevano ai piedi dei primi rilievi apennini sull'uno e sull'altro versante. Sul versante adriatico la flora miocenica di Stradella e Guareni; sul versante tirreno la flora e le ligniti di val di Magra con conchiglie di acqua dolce. Più in là l'Adriatico ripiglia i suoi diritti sulle regioni subapennine dell'Emilia, e depone le marne e i calcari marnosi, le sabbie, le ghiaje e i conglomerati, rigurgitanti di testacei marini, e formanti le alte colline di Modena e di Reggio. Lo stesso mare copre i dintorni di Bologna; ma ritornano le maremme più in là, nel Senigalliese e nell'Anconitano, dove le molasse, le argille schistose, gli schisti argillosi e i gessi, deposti in seno ai laghi o alle lagune, contengono uccelli, pesci e molluschi d'acqua dolce, e un numero sterminato di piante fossili, appartenenti a 300 specie all'incirca. La flora è perfettamente miocenica.

Meno studiato è il miocene lungo il lido dell'Adriatico nell'Italia meridionale: ma quella gran zona composta di pliocene e di miocene, che corre fino ai confini meridionali della penisola, ci persuade che degli Apennini meridionali non esistessero allora che gli alti nuclei, formati di calcari nummulitici, o di terreni più antichi, principalmente cretacei e giuresi. Il mare dunque si portava direttamente verso le masse più elevate del Gran Sasso d'Italia, della Majella e delle alte montagne d'indole alpina nella Calabria. Un'isola, molto staccata dal lido, segnava già fin d'allora il capo Gargano. Sugli opposti versanti dell'Italia centrale e meridionale, cioè verso Roma e Napoli, il mare pure si distendeva almeno fino alle falde del vero Apennino, occupando tutta la Campagna romana, e la regione dei laghi craterici e dei vulcani spenti che sorgono fra essa e gli Apennini dell'Umbria e dell'Abruzzo, spingendosi quindi ad occupare la valle del Liri e del Garigliano, i campi Flegrei e il territorio di Napoli. Come una grand'isola però, o catena di isole sorgeva lontano da quei lidi la catena littorale delle Alpi Apuane, del Monte Pisano e delle montagne del Volterrano. Fra l'attuale golfo di Napoli poi e quello di Manfredonia s'insinuava una manica, teatro di manifestazioni vulcaniche, che isolava la Calabria dal resto d'Italia, come lo stretto di Messina separa al presente la Sicilia dalla penisola. Quanto alle grandi isole italiane, la Corsica, la Sardegna, l'isola d'Elba e la Sicilia, esse esistevano già certamente nell'epoca miocenica; ma quanto più umili di quello che sono al presente! Più piccole la Corsica e la Sardegna e piccolissima la Sicilia. Mi si permetta però di lamentare ancora una volta quel difetto di notizie sufficienti, il quale non ci pone in grado ancora di presentare, con fiducia di non errare troppo lungi dal vero, la configurazione dell'Italia sul principio e nel progresso dell'epoca miocenica. Sarebbe del resto fuor di luogo di trattenersi qui ad esporre quelle ragioni che mi inclinano a credere che nell'epoca miocenica, come in tutte le epoche antiche, l'Italia, come l'Europa a cui appartiene, fossero assai meno elevate e assai meno estese di quanto si ritiene dai geologi comunemente (1).

Del resto anche l'epoca miocenica fu, come le precedenti, epoca di depositi marini ed epoca di sollevamenti, tanto che al principio dell'epoca pliocenica l'Italia si mostra già robusta, gia compita, per quanto costituisce fondamentalmente la sua ossatura. Noi riteniamo anzi che il vero periodo della emersione della penisola italiana è quello che corre fra il principio del miocene e il principio del pliocene. Bisogna dire adunque che, mentre si formavano i depositi miocenici, la regioni delle Alpi e degli Apennini fosse in preda ad una universale sotterranea agitazione, oscillando continuamente, presentando cioè una serie di sollevamenti e

(1) V. l'Appendice *Sul sollevamento dei continenti boreali posteriormente al periodo eocenico, e sul metodo da seguirsi per la ricostituzione degli antichi continenti* nelle mie *Note a un corso di geologia* Vol. II, pag. 429.

di depressioni, in guisa però che quelli superassero il valore di queste, per cui in somma l'Italia guadagnasse sempre di altezza, tanto che sulla fine dell'epoca miocenica non fosse molto lontana dall'aver raggiunto la sua attuale statura. Ciò è tanto vero che nelle Alpi svizzere come abbiam detto i terreni miocenici si spingono a un'elevazione di 1800 m., e nel Piemonte a quella di 642 m., mentre il pliocene marino ai piedi delle Alpi lombarde non si eleva che ad un'altezza di 270 m. (1). Quando si dice che alle Alpi non mancavano che 270 m. al massimo per toccare la loro attuale elevazione, si afferma che il rilievo alpino e prealpino, prescindendo dai minori colli e dalle pianure, aveva già raggiunto la sua attuale potenza al principio dell' epoca pliocenica. Negli Apennini invece il pliocene raggiunge maggiori altezze, si insinua più addentro nelle montagne, e compone una gran parte di rilievo che sovrasta al mare e alla pianura. Dunque gli Apennini si trovavano in quell'epoca in uno stato di maggiore infanzia, in confronto delle Alpi, e l'Italia peninsulare deve assai più, che non l'Italia alpina, ai sollevamenti che ebbero luogo dappoi. Negli Apennini, tuttavia come nelle Alpi, l' orografia, celata ancora sotto il velo del mistero nelle epoche antecedenti, col pliocene offre già dei contorni abbastanza definiti e dei rilievi abbastanza decisi. Noi abbiamo cercato di coglierne i tratti principali nello schizzo di una *Carta geografica dell'alta Italia nell' epoca pliocenica* che presentiamo nella Tavola I al lettore. Ci limitiamo a questa parte della penisola perchè fu dessa il principale teatro degli avvenimenti di cui dobbiamo occuparci, e perchè, essendo l'alta Italia la parte del nostro paese meglio studiata, speriamo di scostarci meno dal vero, disegnandone la geografia. Chi l'osserva (e noi abbiamo fatto di tutto per fargli ossevare, almeno approssimativamente, il vero) può bene dire che l'Italia esiste, benchè le manchino ancora in tutto e per tutto i finimenti. Dal principio del pliocene adunque soltanto può sperarsi per ora che la storia della penisola italica sia veramente storica, nè io vedrei per ora nessun altro punto di partenza da dare a quella che io chiamo *geologia continentale*. Cominciamo dapprima a fissare come meglio ci è dato i confini del mare che circoscriveva in allora l'Italia: vedremo poi di quali fenomeni divenne teatro il paese così circoscritto. I confini del mare ci sono tracciati naturalmente dai terreni marini, che si deposero allora sopra aree, ora sollevate e asciutte, formanti appunto la prima parte di quel finimento che mancava all'Italia al principio dell'epoca pliocenica.

Dopo il miocene adunque i trattati di geologia recano un altro lungo periodo che, prescindendo dalle terre già formate, può studiarsi ancora coi dettami della vecchia scienza elementare. È anch'esso un periodo marino, ma è, diremo, l'ultimo. Questo lungo periodo, con cui si chiude l'epoca cenenoica o terziaria, fu detto *pliocene*. I terreni di cui si compone sono anche indicati comunemente col nome collettivo di *terreno subapennino*. Ho detto che il terreno *subapennino* è l'ultimo terreno marino, perchè i continenti sono fatti, e l' antico mare ormai non ne occupa che alcuni lembi di pochissima estensione, e sta per abbandonare anche questi ben tosto. Vi ha tuttavia una regione sulla quale il mare vanta ancora un dominio assai vasto. Questa regione è precisamente l'Italia. La si guardi dall'Apennino o la si guardi dall'Alpi, il mare si stringe ancora assai d'appresso all'una e all'altra catena. Tutta la distesa dei piani, tutta la regione dei colli che cingono ora di così bella ghirlanda i piedi delle Alpi e degli Apennini, tutta quella parte per cui l' Italia è Italia, la terra dalle irrigue pianure, dai campi biondeggianti di spighe, dai vigneti e dai colli boscosi, tutta è ancora sommersa. Giova conoscere un po' più da vicino ciò che era l'Italia, ciò che erano le Alpi, nell' epoca pliocenica.

Grazie alla natura dei terreni, alla facilità dei luoghi, alla straordinaria ricchezza di reliquie organiche, i terreni pliocenici, specialmente i *subapennini* pro-

(1) V. la citata *Appendice sul sollevamento dei continenti boreali posteriormente al periodo eocenico, e sul metodo da seguirsi per la ricostituzione degli antichi continenti*, nelle mie *Note ad un corso di geologia*. Vol. II, pag. 428.

priamente detti, si conobbero e si studiarono fin dal primo giorno in cui si potè dire che il mare aveva dimorato sul continente. La storia della geologia in Italia, fin quasi ai nostri tempi, si può dir quasi *storia dei terreni e dei fossili subapennini*. Si ritenne al principio che il terreno subapennino mancasse al piede delle Alpi. Perchè ci doveva mancare? ... Si trovò invece più tardi che vi esiste benissimo, sviluppatissimo, in condizioni zoologiche estremamente interessanti. Soltanto il terreno pliocenico non vi presenta sempre le forme del terreno subapennino propriamente detto, e anche dove lo presenta, è mascherato, sepolto da terreni più recenti. Basta; ormai sono noti e discussi tanti lembi di terreno subapennino a' piedi delle Alpi, che il mare pliocenico vi si può disegnare completamente e precisamente. Durante quest'epoca, così ben illustrata (benchè nol sia ancora abbastanza) dai primi geologi italiani e stranieri fino a Brocchi, Cuvier e Brongniart, e da questi fin a noi, l'enorme gruppo delle Alpi e delle Prealpi era perfettamente disegnato, si presentava cioè su per giù come oggi. Anche l'Apennino aveva acquistato corpo, e la Penisola si spingeva fra i due mari, quei mari stessi che ora la circondano. Soltanto i lidi di questi due mari bisogna cercarli più verso terra, cioè più verso l'asse delle due grandi catene, anzi fin là dove sorgono i colli allineati al piede dell'una e dell'altra. Entro lo spazio fra i lidi d'allora e i lidi attuali, cioè sulla zona di terra italiana allora coperta dal mare, si deposero prima dei fanghi argillosi, poi delle sabbie simili a quelle che in prossimità o in lontananza del littorale si accumulano ancora nei due mari. Naturalmente c'erano anche allora dei fiumi derivanti dall'Apennino e dalle Alpi, che spingevano entro il mare i loro delta o sabbiosi o ghiajosi o ciottolosi, che dovevano più tardi dar luogo a conglomerati di diversa natura e di varia finezza. Ho già accennato così ai tre tipi principali di rocce, costituenti i così detti *terreni subapennini*. Essi terreni infatti, tanto al piede degli Apennini quanto al piede delle Alpi, constano primordialmente ed universalmente di argille marnose, azzurre, stratificate regolarmente, ricchissime di spoglie marine d'ogni genere. Queste argille, che rappresentano per me il vero pliocene, raggiungono talvolta 700 e fin 1000 metri di spessore. Sono marine a tutto rigore di termini, associando ai testacei marini i celebri scheletri delle balene e dei delfini. Superiormente alle argille azzurre troviamo delle sabbie, le quali passano talvolta ai conglomerati che accusano una origine torrenziale. La forma dei conglomerati littorali e torrenziali predomina nella zona superiore alle argille al piede delle Alpi.

Questi terreni, facili a distinguersi principalmente al piede delle Alpi, dove riposano sovente sui terreni terziarî più antichi, o sui terreni cretacei o giuresi, enormemente raddrizzati e di tutt'altra natura, disegnano molto chiaramente i limiti degli antichi mari d'Italia. L'Adriatico d'allora principalmente (ed è quello che più c'importa di conoscere nel caso) si può tracciare sopra una carta geografica quasi esattamente come l'Adriatico d'oggi. Fate soltanto che, per ipotesi, il mare si alzi da 300 a 400 metri sopra il livello attuale. L'Adriatico naturalmente allagherà le pianure, supererà gli altipiani ai confini di esse, sommergerà le colline a' piedi dell'Apennino e delle Alpi. In questo Adriatico ipotetico vedreste a un dipresso riprodotto l'Adriatico reale dell'epoca pliocenica. Sono le argille, le sabbie e i conglomerati pliocenici da esso deposti che lo disegnano nettamente. La cosa è chiarissima quanto all'Apennino e alle Alpi del Piemonte. Riguardo alle Alpi della Lombardia lo divenne soltanto in questi ultimi anni, dacchè si scopersero sotto alle alluvioni ed al terreno gliaciale tanti lembi di argilla azzurra con fossili pliocenici che, riuniti, disegnano l'antico littorale subalpino nelle provincie di Como, di Bergamo e di Brescia. Partendo infatti dal lago Maggiore, le argille azzurre, zeppe di testacei marini, si mostrano nel luogo detto *il Faido*, tra la città e il lago di Varese. Sono un anello che riunisce il pliocene lombardo alle argille plioceniche che s'incontrano più sviluppate in Piemonte, ad Ivrea, a Biella, a Borgomanero, a Maggiora, cioè nei primi rilievi subalpini ad occidente del lago Maggiore. Le argille azzurre continuano, precisamente al piede delle Prealpi, a nord di Varese dove esiste la celebre località fossilifera della Folla d'In-

duno, nella quale si vedono riposare quasi orizzontalmente sulle marne cretacee fortemente raddrizzate. Le stesse argille azzurre si distendono largamente lungo l'Olona. Le sabbie invece, sono dovunque o poco sviluppate, o poco definibili. Ad est dell'Olona la argille azzurre, benchè finora non riconosciute fossilifere, si sviluppano pure largamente lungo la Bevera. Ancora più ad est ritornano fossilifere a Pontegana presso Balerna, e di là si spingono a riempire tutta la vasta depressione che separa le falde cretacee o giuresi del monte Bisbino, dai colli miocenici di S. Fermo e della Camerlata. Tutti questi fatti sono già registrati nel mio *Corso di Geologia* (1) dove si compie la rassegna dei depositi pliocenici ai piedi delle Alpi, segnalando le argille fossilifere e le sabbie solcate dal torrente Tornago, confluente del Brembo ad Almenno; le argille azzurre e le sabbie della valle Seriana lungo il torrente di Nese; e finalmente la collina di Castenedolo a mezzodì di Brescia, che emula per la ricchezza dei fossili le più ricche colline a piè dell'Apennino. Nelle regioni di Lombardia poi, principalmente nelle più orientali, le sabbie e le stesse argille sono sostituite da quel potentissimo e vastissimo conglomerato, noto a tutti sotto il nome di ceppo d'Inverigo, di Trezzo, di Brembate ecc., che forma una specie di grande altipiano disteso ai confini settentrionali della pianura, e al piede delle Prealpi o delle Alpi nella Lombardia e nella Venezia, principalmente partendo dall'Adda per raggiungere il Tagliamento. L'età pliocenica di questo ceppo e la sua origine da fiumi alpini e prealpini, che mettevano immediatamente foce nel mare pliocenico, sono largamente dimostrate nel mio *Corso di Geologia* (2).

Dimostrato come il mare pliocenico flagellava veramente i piedi delle Alpi, si può lasciare pel momento ancora indeciso se esistessero già le grandi valli, o *chiuse*, percorse ora dai più grandi fiumi alpini, e occupate, dove sboccano nella pianura, dai laghi lombardi; indeciso se il mare pliocenico penetrasse in queste valli come penetra il mare attualmente nei *fiords* della Groenlandia e di tutte le regioni più a nord; se insomma l'orografia delle Alpi e degli Apennini si presentasse completa in tutti i suoi tratti fondamentali. Uno de' principali risultati dei nostri studi sui fenomeni continentali sarà appunto quello di levarci da tale stato d'indecisione.

Posteriormente al periodo pliocenico l'Italia subì un notevole sollevamento, che può calcolarsi in media di 400 metri per gli Apennini e di 250 per le Alpi. nelle Alpi principalmente questo sollevamento fu così tranquillo e regolare, che le argille plioceniche si trovano ancora approssimativamente disposte in piani orizzontali, come furono originariamente deposte in fondo al mare. Ciò rende molto probabile che esso sollevamento, l'ultimo considerevole, quello che chiude la storia dei sollevamenti alpini, non abbia portato delle modificazioni troppo sensibili alla configurazione e nelle condizioni della regione alpina. Col ritiro del mare pliocenico per effetto di tale sollevamento, la storia dei mari antichi è quasi finita per l'Italia, e credo pel mondo tutto. La vecchia geologia, cioè la geologia statigrafica, che si basa principalmente sull'analisi degli antichi sedimenti marini, rassegna ormai le armi, dichiarandosi inetta a continuare la storia del globo in generale, e in particolare la storia delle Alpi. Ma intanto va maturando una nuova geologia, quella che Hitchcock chiama geologia della superficie (Surface géology), e che io chiamerei più volentieri *geologia continentale.* La principale conquista, direi l'affermazione di questa nuova geologia, consiste nell'avere riconosciuto e descritto un'*epoca glaciale,* che succedette all'epoca pliocenica, anzi, per lo meno in parte, corse parallela ad essa, ed è principalmente rappresentata da una successione di fenomeni affatto continentali.

Giunto alla sommità *della serie statigrafica*, cioè di quella pila enorme di strati o fondi marini sovrapposti, sui quali si legge la lunghissima storia del mondo avanti la definitiva costituzione dei continenti, il geologo non trovava testè quasi altro che un informe sfasciume, una congerie polimorfa di sabbie, di ghiaje, di

(1) Vol. II, Cap. XV.
(2) Vol. II, § 1024-1032.

brecce, di ciottoli, di massi, di tritume d'ogni sorta, che rivestiva i fianchi delle montagne, riempiva i letti delle valli, si distendeva nelle immense pianure, e dopo aver ricoperto d'un manto logoro informe i continenti e le isole, si perdeva nel mare. Ci voleva poco per accorgersi che tutto quello sfasciume altro non rappresentava che la feroce congiura degli elementi contro le terre uscite già da migliaja d'anni dal seno del mare. Quelle sabbie, quelle ghiaje, quei ciottoli, quei massi, mon apparivano che come altrettanti brani o caduti o strappati dalle già vecchie montagne, che mostravano già laceri i fianchi e ignude le ossa. Le piogge che diluviano di continuo dal cielo, i torrenti che balzano torbidi e fragorosi dalle Alpi, seco trascinando talora le rupi, i fiumi ingialliti dal fango, volgenti i volubili meandri sopra un mobile fondo di ghiaje, di sabbie, di argille, che in pochi anni lasciavansi dietro le spalle le città fabbricate sulla riva del mare, creando nuove terre in seno ad esso, offrivano al geologo la più immediata ragione di tutto quell'immenso tritume che ingombra la faccia dei continenti. Ma quanti fenomeni i fiumi non bastavano a spiegare? Il geologo si era già da molti anni arrestato esterefatto e confuso davanti a que' massi enormi, a quelle rupi, che dalle vette nevose delle Alpi eran venute, sorvolando gli abissi delle valli e dei laghi, a collocarsi sui fianchi delle Prealpi, sulle cime dei colli che sorgono ai piedi di esse, e sulla distesa della pianura che se ne diparte per giungere al mare. Quale misterioso cataclisma si era avverato sulla faccia dei continenti, prima che l'uomo stampasse le sue orme sulla terra? Quante ipotesi! quanti assurdi! per giungere a spiegare ciò che nessuno era arrivato ad intendere. Dalla Svizzera ci venne finalmente la luce. Charpentier da prima, quindi i suoi gloriosi connazionali, più tardi i geologi di tutte le nazioni, a poco a poco convertiti alla nuova dottrina, lasciando i fiumi, e i diluvi agire a loro posta, si volsero a quell'altra famiglia di roditori del globo, che si chiamano ghiacciai, e il geologo pote, dopo alcuni anni di sosta, riprendere la storia del globo, o piuttosto cominciare quella dei continenti, per condurla fino ai tempi nostri. Questa storia è quella dell'*era neozoica* che forma il soggetto, come dissi, di questo volume, susseguita dall'*era antropozoica,* che comincia colla comparsa dell'uomo, e lo accompagna fino ai tempi nostri.

II.

DINAMICA DEI GHIACCIAI ALPINI

Probabilmente fin verso la fine dell'epoca terziaria la neve era rimasta ignota alla terra. È certo poi che durante il periodo miocenico le regioni polari erano ombreggiate da dense foreste, composte di famiglie di piante, per cui sorridono in oggi così allegramente le regioni più temperate, di piante che cingono di così vaga cornice i nostri laghi e vestono i nostri colli di così vago ammanto.

Gli studî di Heer furono specialmente rivolti, in questi ultimi anni, alla illustrazione di una splendida flora che rivisse, quasi per incanto, dagli strati delle terre ghiacciate che circondano il polo (1). Risulta da quelle ricerche, a cui prese parte una schiera numerosa di arditi esploratori, che, nell'epoca miocenica, esistevano terre antiche rivestite d'una rigogliosa vegetazione; che il polo era chiuso all'ingiro da vergini foreste, aventi ignoti confini a nord, mentre si fondevano a mezzodì colle vergini foreste delle regioni più temperate, che vedemmo colmare di ligniti le lagune e seminare di foglie e di ambra gli strati miocenici d'Inghilterra, della Germania, della Svizzera, dell'Italia, di tutta Europa, e diciamo anche dell'Asia e dell'America.

Le reliquie della flora artica terziaria furono raccolte, si può dire, in tutte le località più settentrionali all'ingiro del polo: in Groenlandia, in Islanda, nell'isola di Bären, allo Spitzberg, nella Siberia del Nord, nell'Arcipelago americano artico, nell'Aliaska, nelle Aleuzie, nel Kamtschiatka.

Quella flora era ricchissima. Essa è rappresentata, stando alle ultime enumerazioni di Heer, da 291 specie, 194 delle quali prosperavano nelle regioni artiche più avanzate. Quelle specie artiche sono per la maggior parte legnose. Questo carattere è presentato almeno da 128 specie, 78 delle quali sono piante d'alto fusto. La flora miocenica artica trova i tipi che le corrispondono nelle attuali regioni temperate. Alle regioni temperate appartengono infatti gli abeti, che vi rappresentano l'essenza predominante, i cipressi, i platani, i salici, le betule, gli olmi, le magnolie, gli aceri, i tigli, i noci, i pomi, i mandorli, le eriche, le viti. Un gran numero delle specie artiche entrano a comporre la flora miocenica delle attuali regioni temperate. Importa tuttavia notare che alla flora artica mancano le

(1) *Flora fossilis arctica*, Vol. I, 1868. Vol. II, 1871.

palme e i cinnamomi, che, così sparsi nel miocene d'Europa, vi accusano indubbiamente un clima più caldo. Potevano dunque allora biancheggiare le cime delle Alpi come biancheggiano in oggi? Forse il verno avrà potuto spargerle di quella temporanea canizie che ora temporaneamente rattrista le nostre vigne, i nostri giardini. Ma io credo inamissibile che le nevi potessero accumularsi in tal copia sulle vette delle Alpi da sfidare l'estiva canicola, sicchè, accresciute d'anno in anno, potessero dar luogo a quei solidi torrenti che noi chiamiamo ghiacciai. Ma durante il periodo pliocenico le condizioni climatologiche profondamente mutate permisero alle nevi di cadere fitte sulle Alpi in copia assai maggiore di quella che ogni anno vi porta ora l'inverno. Ribelli alla vampa estiva le nevi si accumularono strato sopra strato, e, impossenti a reggersi sui ripidi pendii, presentarono la prima volta lo spettacolo delle valanghe. I circhi che vaneggiano tra le negre rupi delle alture sono colmi e rigurgitanti. Ecco spuntare i primi ghiacciai, eccoli allungarsi, svolgersi come azzurri serpenti giù giù per le valli. Dalle secondarie discendono, come le file di un esercito che si raccoglie nel campo, nella valle principale. Le grandi valli alpine sono colme di ghiaccio. Ormai quelle moli semoventi hanno raggiunto le più basse regioni, hanno rivestito i fianchi delle Prealpi, sorpassano ardue cime, e giunte alla regione dei colli, libere da ogni freno, si distendono lateralmente, si toccano, e quasi si fondono in un solo ghiacciajo, che si dilata a guisa di un mare di ghiaccio alle falde delle nostre montagne.

Sulla storia fisica de' ghiacciai molti libri furono scritti anche in Italia in questi ultimi tempi (1). Per ciò chi fosse famigliare a questi studî può saltare a piè pari il presente capitolo. Chi nol fosse lo legga, come premessa necessaria per aver in mano la chiave del linguaggio geologico di quei grandi monumenti, che formano uno dei tratti più caratteristici dell'alta Italia, e sui quali è scritta la parte migliore della sua *geologia continentale*.

Ricordi il lettore quella prima mattina d'ogni inverno in cui gli pare, svegliandosi, di trovarsi in seno alle Alpi. In poche ore le nevi delle Alpi sono discese fino al piano, e talvolta fino ai lidi dell'Italia meridionale. Ma torna la primavera; il sole rimonta verso la verticale delle nostre teste. Le nevi scompajono tosto dal piano; più tardi dalle Prealpi; le stesse aguglie delle Alpi si mostrano nel cuore dell'estate ignude e nere. Ma guardando alle Alpi le loro cime disuguali biancheggiano ancora per la massima parte, e un candido velo discende ancora sulle loro spalle. Quelle nevi sfideranmo fino al nuovo inverno il sole che versa sul piano, sui colli e sui monti stessi elevati più di 2000 m. i calori dei tropici. Il M. Rosa da secoli s'imporpora al sole nascente dei mattini di agosto. Sono le *nevi eterne*. Forse che il sole perde la sua possa sulle vette che sovrastano ai 2700 m. di altezza (2)? Tutt'altro: le nevi si squagliano anche sulle creste più elevate, e nell'estate precipitano vorticosi i torrenti apini dal seno delle regioni glaciali. Ma il sole di agosto non riesce a struggere tutta l'enorme massa delle nevi di gennajo. Abbiam veduto in vero nel 1861 spoglia anche la cima del Monte Bianco di nevi cadute nell'anno: ma fu un caso eccezionale. La regola è questa, che ogni anno una porzione delle nevi caduta nell'inverno, resta per confondersi colle nevi dell'inverno susseguente. I residui annuali, accumulandosi per secoli, possono formare, e hanno in fatti formato, uno strato di considerevole grossezza.

Oltre le nevi perpetue, sparse sui cocuzzoli, e come a sprazzi sui fianchi più elevati delle Alpi, visibili ovunque anche dal piano, si scoprono nei recessi invisibili dalla pianura, nei circhi, sui vasti altipiani circondati d'aspre vette, enormi accumulazioni delle nevi stesse. Dalle nevi perpetue si spiccano giù scendendo i ghiacciai. Se questi poderosi agenti della natura non si tenessero nascosti entro i meandri del gran labirinto alpino, noi li vedremmo come lingue, come serpenti di ghiaccio, staccarsi dalla linea delle nevi perpetue, e discendere assai basso, in

(1) Stoppani, *Corso di geologia*, Vol. I, pag. 107-245.

(2) Il limite delle nevi perpetue nelle Alpi si ritiene discendere in media a 2708 m. Su versanti Italiani tuttavia si deve ritenere in genere molto più elevato.

regioni temperatissime, sdrucciolando furtivi di mezzo alle piante, per comparire d'un tratto all'aperto sul tappeto fiorito che riveste le valli sparse di alpini villaggi. Il ghiacciajo detto la *Mer de glâce* p. es. discende fino a Chamouny, ossia a 1044 m. di elevazione sul livello del mare, con altre parole a 1664 m. sotto i limiti ordinari delle nevi perpetue.

Ecco, precisamente nei ghiacciai, quegli agenti poderosi a cui la natura diè vita sulla fine dell'êra cenozoica, perchè durante la neozoica compissero l'opera condotta tanto inanzi dal sollevamento nelle epoche precedenti, sicchè le regioni

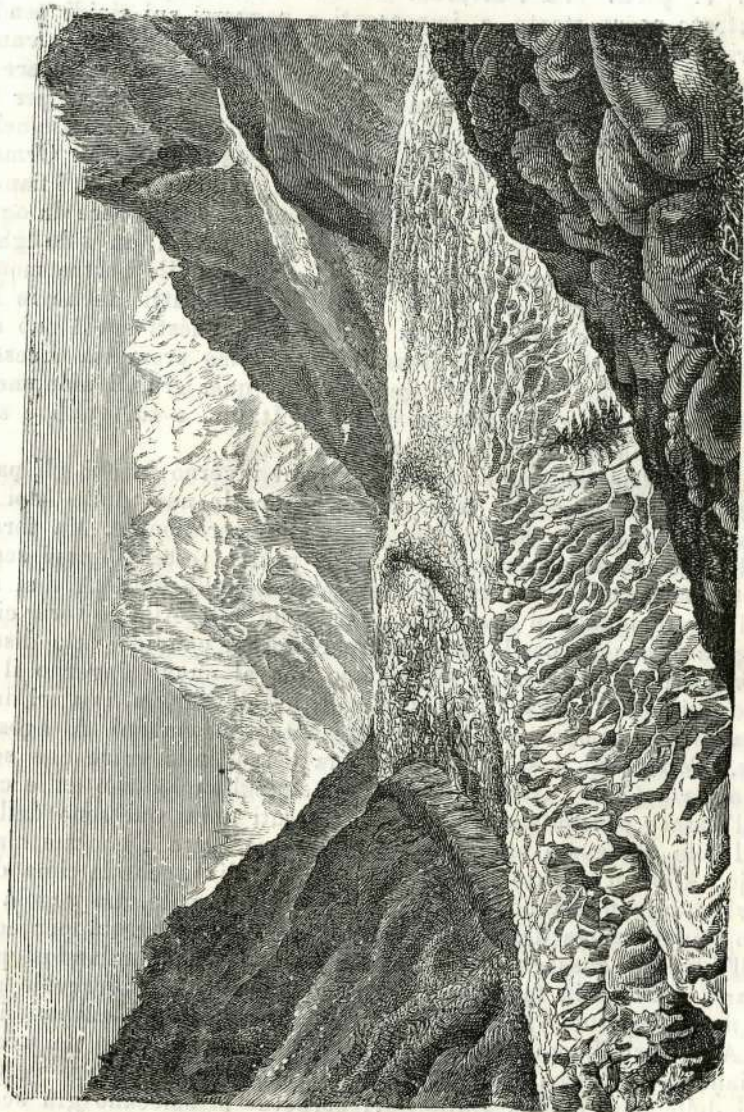



Fig. 1. — La Mer de glâce a Chamouny.

che stanno al disotto delle porzioni più elevate dei continenti rivestissero quelle forme che presentano in oggi, e noi trovassimo nell'Italia una patria così bella e una terra così ferace.

Facendoci dappresso ad esaminare un ghiacciajo noi ci accorgiamo ben presto che il suo aspetto varia col variare dell'altezza a cui si trova ciascuna parte di esso. Ogni ghiacciajo può ripartirsi in tre regioni. Verso i limiti delle nevi per-

petue, da cui immediatamente si diparte, esso non è ancora che un cumulo di neve farinosa, a superficie uguale ed unita. Siamo nella *regione della neve.* Segue

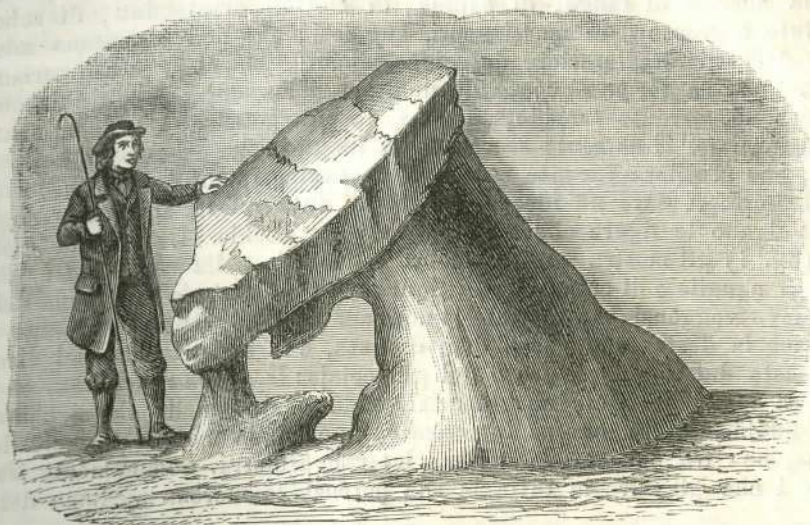



Fig. 2. — Tavola del ghiacciajo di Roseg nell'Engadina.

più basso la *regione degli nevischio,* dove il ghiacciajo è composto alla superficie di neve granulosa, ghiacciata, ma ancora incoerente. Il nevischio occupa principalmente i così detti *circhi,* cioè il fondo di quei bacini, circoscritti da montagne nevose, dove si accumulano le valanghe, che precipitano dai campi di neve sovrastanti. Il ghiacciajo esce da questi circhi, e discende nella valle sotto forma di un gran torrente di ghiaccio, che, dapprima bianco e poroso, diviene poi, mano mano che si discende, ceruleo, compatto e trasparente. La *regione del ghiaccio* è la più interessante pel fisico, mentre è la regione dei crepacci, delle aguglie, delle acque scorrenti e delle morene. Ogni ghiacciajo presenta come un piccolo continente di ghiaccio, co' suoi monti di ghiaccio, colle sue valli di ghiaccio, con ruscelli, torrenti e laghi, che scorrono o riposano sovra letti di ghiaccio. Pel geologo il fenomeno più interessante è quello del detrito roccioso sparso sulla superficie del ghiacciajo. Quà e là coni di ghiaccio, che si innalzano dalla superficie del ghiacciajo, coperti di fino detrito, sicchè figurano e sono indicati come *coni di sabbia.* Quà e là sbrancati veggonsi ciottoli e massi, talvolta di dimensioni enormi, elevati sopra piedestalli di ghiaccio. Gli alpigiani li indicano sotto il nome di *tavole del ghiacciajo.* Ma il detrito sparso così sotto diverse forme vedesi poi radunato sotto forma di colline allungate, che, parallele fra loro, percorrono tutto il ghiacciajo, dal punto ove esso sbocca dal circo, fino a quello dove si arresta giù nella valle o nel piano. Quei cumuli allungati, formanti un rilievo, quasi un enorme cor-

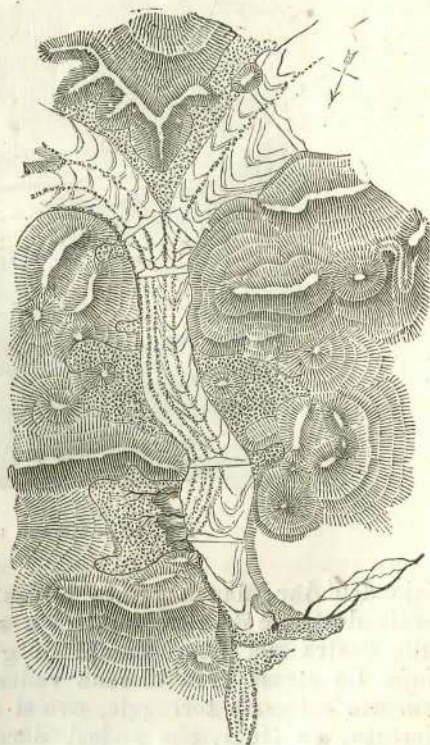



Fig. 3. — Topografia della *Mer de glace.*

done, sulla superficie tondeggiante del ghiacciajo, son dette *morene* nel linguaggio degli alpigiani, e sono composte di un rilievo di ghiaccio, tutto ricoperto dalla più confusa miscela di fango, di sabbia, di ciottoli arrotondati, di schegge di pietre minute e grosse e di massi aspri, angolosi, che non conoscono misura di grossezza. All'estremità inferiore del ghiacciajo, il ghiacciajo stesso termina con un'apertura, che ha forma sovente di una magnifica caverna di ghiaccio dalla quale sbocca un torrente torbido, fangoso, la cui potenza è proporzionata alla mole del ghiacciajo. Il torrente scorre sopra un'alluvione da esso medesimo creata e nudrita, che si dilata sovente sopra un vastissimo piano, e giù discende a distanza indefinita. A dare un' idea al lettore di tutti questi accidenti, meglio che le parole valgano le figure che gli mettiamo sott'occhio. La veduta della *Mer de glace* (fig. 1) gli mostra questo celebre ghiacciajo nella *regione del ghiaccio*, tutta irta di aguglie e di crepacci. La figura 3 gli presenta la topografia della *Mer de glace*, dove veggonsi ben distinte le morene. Esso ne vanta sei: le due *morene laterali*, cioè la destra che vedesi ben distinta, e la sinistra, che nel disegno rimane nascosta dal tondeggiamento del ghiacciajo: la *morena mediana*, che nasce nel punto di confluenza dei due ghiacciai, onde risulta quello che si chiama *Mer de glace:* finalmente tre *morene intermedie*, due fra la morena laterale destra e la mediana, una fra questa e la morena laterale sinistra. Sommamente istruttiva è la figura 4 che gli offre in tutta la sua potenza la morena mediana del ghiac-

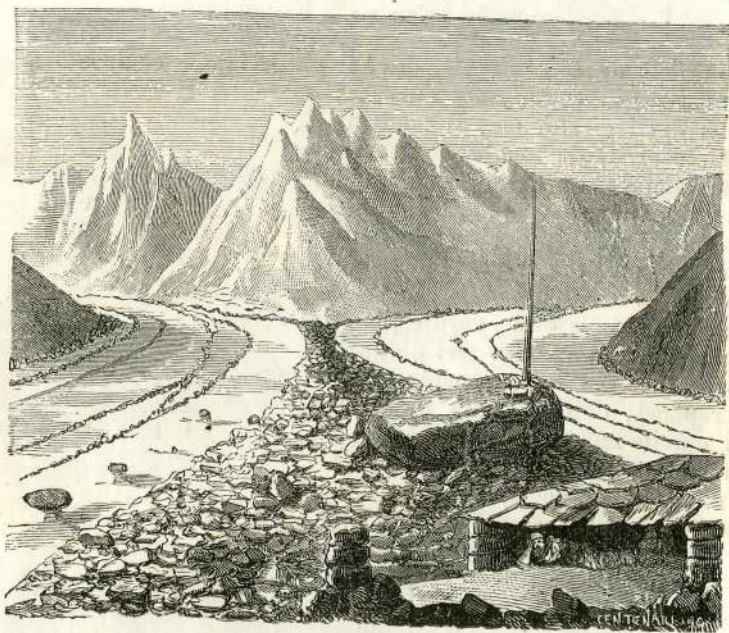



Fig. 4. — Morena mediana del ghiacciajo dell'Aar.

ciajo dell' Aar, fiancheggiata a destra da cinque altre morene, compresa la laterale destra, e da altre quattro a sinistra, compresa la laterale sinistra. Erranti sulla destra nei liberi campi di ghiaccio veggonsi parecchie *tavole del ghiacciajo*. La stessa gran morena vedesi formata di grossi massi, sui quali uno veramente colossale torreggia, ove si alza il segnale, erettovi, per misurarne il movimento, da Hugi, che vedesi dormente nella capanna costrutta all' uopo sulla grande morena. La fig. 5 ci mette davanti alla *porta* del ghiacciajo di Zermatt, ossia alla grande caverna di ghiaccio da cui sbocca il torrente sovra un letto formato dai massi cadenti della morena frontale. La fig 6 finalmente ci presenta la morena frontale del ghiacciajo di Visch, quasi sospesa al piede del ghiacciajo

sopra un ripido pendio, da cui precipita il torrente glaciale, formando una bella cascata.

È il detrito degli antichi ghiacciai, sono le antiche morene, che, deposti ai confini della pianura a' pie' delle Alpi, distesi a guisa di mantello sui colli subalpini, ingolfati in seno alle valli prealpine, sparsi ovunque in seno alle montagne, tanto nelle crepature e nelle caverne, quanto sulle cime de' più inaccessibili dirupi, formano uno dei tratti più saglienti dell'attuale orografia dell'alta Italia, ed offrono al geologo i documenti più irrefragabili di quella irruzione glaciale, che è uno degli episodî più interessanti della storia geologica del nostro paese. Che vuol dire tutto questo? Vuol dire che nel modo di formarsi, e nel moto incessante da cui sono animati i ghiacciai stanno le ragioni principali per cui i ghiacciai hanno figurato e possono figurare ancora fra gli agenti più poderosi della natura, capaci di modificare, di trasformare tutte le regioni del globo, come modificarono e trasformarono l'Italia subalpina emersa dal mare dopo l'epoca miocenica.

Se si domanda dunque da prima come si formi un ghiacciajo; nessuno sarebbe tardo a rispondere che esso si forma per mezzo delle nevi: il che vorrebbe dire che il ghiacciajo altro non è che un cumulo di neve trasformata. Durante l'inverno turbini di finissima neve si addensano sulle Alpi. Basta un inverno perchè il S. Bernardo sia sepolto sotto 15 m. di neve. Ma sulle alte cime e sui pendii la neve fresca si arresta per poco. Basta qualunque pretesto perchè la neve ab-

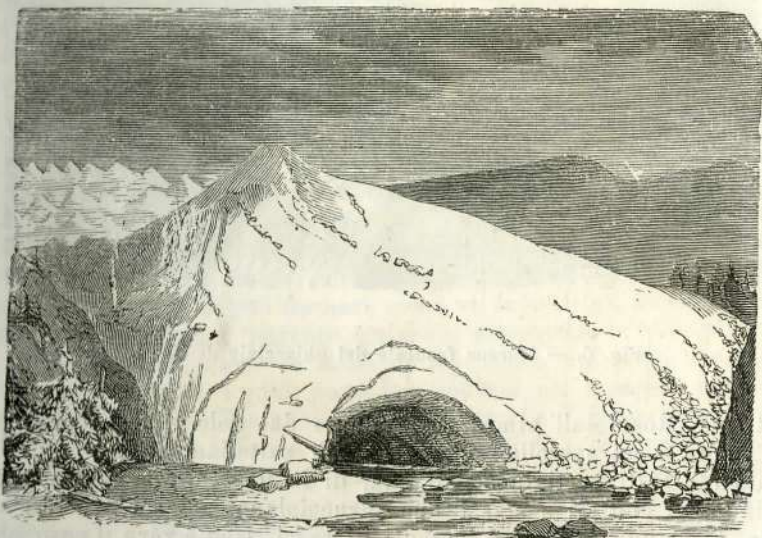



Fig. 5. — Porta del ghiacciajo di Zermatt.

bandoni la sua prima sede. Le valanghe rotolano giù a centinaja dalle alpine vette, accumulandosi entro i circhi. Vedesi talvolta il fianco d'una montagna apparire ignudo d'un tratto, per la neve che sdrucciola giù fino al fondo colla rapidità della folgore. Quella che rimane sulle alture, trovasi in preda ai venti ed agli uragani. L'aria si riempie di una polvere di neve a guisa di nube: la neve stessa, levata in massa dalle cime e dai fianchi delle montagne, è sbattuta dall'uno all'altro versante: tutto è confusione; il profilo stesso delle montagne vacilla; ma infine quelle nevi ricadono, si accumulano nelle depressioni, e colmano i circhi. Così si forma dapprima il ghiacciajo, o piuttosto si aduna la materia che deve formarlo. Quella neve infatti, accumulata nei circhi, bagnata, imbibita dalle piogge, o più ordinariamente dall'acqua che risulta dalla fusione che avviene alla super-

ficie, si converte dapprima in nevischio, quindi si conglutina in ghiaccio poroso e bianco, per rassodarsi finalmente in ghiaccio cristallino e ceruleo. Ogni anno, e più volte all' anno, così cadono e così si accumulano le nevi sulle Alpi, per cui sovra al primo strato di nevi accumulate si sovrappone un secondo, al secondo un terzo, sicchè il ghiacciajo in tutta la sua massa mostrasi composto di strati, le cui testate si disegnano in quelle curve ogivali, composte ciascuna di una fascia sporca e fangosa alla base, e di una fascia limpida e cerulea superiormente. Mentre il ghiacciajo strato sopra strato si forma, lavora la frana sui fianchi delle circo-

Fig. 6. — Morena frontale del ghiacciajo di Visch.

stanti montagne. Rose dall' atmosfera, minate dal gelo e dal disgelo, le rupi si sfasciano. Talora è un sassolino che vien giù saltellando; talora una rupe che spicca scendendo salti vertiginosi; di quà, di là un fragore intermittente, talora quasi continuo, di ciottoli e massi che sdrucciolano insieme a cento a cento, a mille a mille, formando cascate e torrenti di sassi. Non è raro il caso che il fianco d' una montagna si sfasci e scoscenda d' un tratto, e che, più terribile della valanga di neve, precipiti giù per la valle una valanga di rupi. Tutto quel detrito che si stacca dai monti, il granello isolato di sabbia, come il cumulo più formidabile di rupi, tutto, dico, si arresta sulla superficie del ghiacciajo, che occupa il fondo del circo e della valle. Il detrito che posa oggi sul ghiacciajo sarà coperto domani da uno strato di neve, destinato esso pure ad essere coperto da un nuovo detrito, e quindi da nuova neve. Cento strati di neve o di ghiaccio alterneranno quindi con cento strati di fango, di sabbia, di ciottoli, di massi. In fine il corpo del ghiacciajo sarà tutto sparso di detrito roccioso; e se le condizioni sono favorevoli allo sfasciarsi dei monti in balìa dei varî elementi erosivi, il ghiacciajo stesso dovrà apparire come una specie di conglomerato di ciottoli e massi, cui il ghiaccio serve di cemento.

Quì tutto sarebbe finito quando i ghiacciai dovessero considerarsi semplicemente come masse di neve o di ghiaccio deposte in seno alle Alpi. Ma noi non

avremmo nemmeno parlato della formazione dei ghiacciai, se il conoscere come essa avvenga, non fosse necessario per comprendere una parte assai rilevante di quei fenomeni, che sono prodotti da quel movimento dei ghiacciai, di cui veniamo a trattare, ma che hanno per prima condizione appunto quel modo di formazione dei ghiacciai, di cui abbiamo parlato.

Il ghiacciajo cammina; e, se nulla ne trattenesse la foga, vedremmo ben presto i ghiacciai delle Alpi posare rigidi e sterili sulla nostra pianura, sui nostri campi dove poggiarono un giorno. Il giacciajo cammina: la sua stessa esitenza n'è una prova. Nelle regioni al disotto delle nevi perpetue, dove scorrono i ghiacciai, non vi ha bricciolo di neve che, caduta d'inverno, non si strugga d'estate. È calcolato che se ne cadesse ogni anno il triplo ove si stendono i ghiacciai, non ne rimarrebbe ugualmente d'anno in anno nessun residuo. Se il giacciajo esiste, la neve di cui si compone gli viene d'altronde, il che vuol dire insomma che le nevi così dette eterne discendono continuamente trasformandosi in ghiaccio, ossia che il ghiacciajo cammina. Del resto il movimento dei ghiacciai, se non è visibile e appariscente come quello dei fiumi, è, come quello dei fiumi accertato, misurato. Il ghiacciajo, si move, lo ripeto, veramente come un fiume; non come solido che sdrucciola o precipita, ma come liquido che fluisce. Come i fiumi è più veloce alla superficie e nel mezzo, lo è meno al fondo e sui lati. Come un fiume si fa più rapido quanto più erto è il pendio, e più lento, quanto il pendio più si appiana. Come un fiume si precipita a cascata dal ciglio di una rupe, e si appiana quasi un lago in seno alla valle. Col ghiacciajo che cammina, camminano le morene, camminano i massi sparsi sulla superficie del ghiacciajo, e quelli nascosti fino al fondo nel ghiaccio. Ma mentre il ghiacciajo cammina, anche si strugge; sicchè arriva ad un punto dove si arresta, dove, cioè, cessando di camminare come ghiacciajo, continua il cammino come torrente.

Non è quì il luogo d'intrattenerci troppo a lungo sulle ragioni per cui il ghiacciajo si move. Basti il dire che dalle molteplici osservazioni e dalle ripetute esperienze dei fisici più distinti, risulta che il ghiacciajo fluisce realmente, come una massa eminente plastica, come una pasta assai densa, ma capace di schiacciarsi sotto il proprio peso. Quella pasta di ghiaccio, così rigida in apparenza, scorre per ciò, fluisce incessantemente di giorno e di notte, d'inverno e d'estate, e discende per la valle, e in essa si modella, e si piega ad ogni tortuosità, si dilata, si restringe, si insinua, sicchè può formare come un lago di ghiaccio, dove la valle si allarga in ampio bacino, e può passare strizzato attraverso le gole più strette, per dilatarsi e restringersi di nuovo le mille volte, senza rompersi mai, non tenendosi conto di quei crepacci, i quali sono ben lontani nel rompere sostanzialmente la continuità del ghiacciajo. Resta stabilito intanto che il ghiacciajo seco trasporta il detrito che gli tributano talvolta con vera prodigalità le circostanti montagne. È facile imaginarsi come questo detrito non sarà impunemente trascinato dal ghiacciajo e come una massa di ghiaccio semovente, dell'estensione di decine di chilometri quadrati, e dell'altezza di 2, 3, 4 centinaja di metri, debba rappresentare una macchina potente, capace di effetti meccanici portentosi.

I fenomeni che presenta il ghiacciajo e gli effetti che esso produce come agente meccanico, per l'azione combinata del movimento e dell'ablazione (cioè del continuo disgelo) possono distribuirsi in quattro categorie. 1.° Fenomeni ed effetti riferibili al ghiacciajo per se stesso. 2.° Effetti risultanti dall'azione meccanica del ghiacciajo sul detrito roccioso che si trova alla sua superficie o nell'interno; 3.° Effetti risultanti dalla stessa azione meccanica del ghiacciajo sulle rocce in posto, cioè sul fondo e sul fianco della valle, occupata da esso. 4.° Effetti riferibili alle acque del ghiacciajo, o dentro i suoi dominî.

Lasciando ai fisici di occuparsi di molti fenomeni che presenta il ghiacciajo come massa semovente, accenneremo quelli soltanto che interessano la geologia, e gli accenneremo per quella parte soltanto che la interessano. Un ghiacciajo anzitutto non presenta un piano, mentre la sua superficie non dovrebbe avere altra forma, se è vero che il ghiaccio scorre, lentissimo è vero, ma al modo di un li-

quido. Il ghiacciajo invece offre una forma tondeggiante, presentandosi, come si direbbe, a schiena d'asino, molto rilevato nel mezzo e gradatamente depresso sui lati. La sua forma è quella di una collina che si allunga in mezzo alla valle parallelamente ad essa. Questo fenomeno si spiega facilmente quando si rifletta alla irradiazione del calore dai fianchi rocciosi della valle, principalmente d'estate, quando le rupi si riscaldano così fortemente anche nelle regioni più elevate. L'azione del calore irradiato, massime a contatto del ghiacciajo, va naturalmente diminuendo verso il mezzo di esso. Perciò il ghiaccio, che tutto si strugge, si deprime maggiormente sui lati, e sembra rilevarsi nel mezzo. Anzi è tale la forza della irradiazione laterale, che il ghiacciajo aderisce assai difficilmente ai fianchi della valle nella sua parte superiore, e spesso vaneggia fra la rupe e il ghiaccio una specie di larga crepatura, che è talvolta un vero abisso, dove i massi che franano dalle montagne si precipitano in luogo di arrestarsi sul ghiacciajo.

Fig. 7. — Vano o crepaccio laterale d'un ghiacciajo.

Tra i pittoreschi accidenti che non sono rimarchevoli soltanto pel fisico, ma interessano il geologo, accenneremo i crepacci che scindono ovunque il ghiacciajo. Essi formano due sistemi distinti; i *longitudinali*, più radi e più lunghi, e i *trasversali* più spessi e più corti. Gli uni e gli altri dipendono dalla forza di trazione in eccesso, che vince la forza di coesione del ghiaccio, principalmente quando il ghiacciajo è obbligato a discendere un ripido pendìo. Sono questi crepacci che ingojano i massi, talvolta le intere morene, portando il detrito superficiale in seno al ghiacciajo, dove lo vedremo sottoposto ad un'azione meccanica immensa che lo rode e lo stritola.

Ma il fenomeno principale che interessa il geologo è quello delle oscillazioni a cui il ghiacciajo va continuamente soggetto. Il ghiacciajo oscilla; cioè si avanza e si arretra, si gonfia e risiede. Talvolta i ghiacciai delle Alpi invasero i boschi e le campagne, sradicando piante, atterrando case e villaggi. Vidersi invece talvolta indietreggiare, rintanarsi nelle valli od anche scomparire affatto. In genere i ghiacciai si avanzano e si gonfiano d'inverno, quando il movimento la vince sull'ablazione; si arretrano d'estate, quando l'ablazione supera il movimento. Vi hanno però delle oscillazioni secolari molto più importanti, registrate dalla storia. Si ebbe per es. un periodo di progresso dei ghiacciai alpini nel 1811, e un altro dal 1815 al 1817. Un periodo di regresso invece si verificò tra il 1861 e il 1873, e pare che noi ci troviamo ancora in questo periodo nel 1875. Certi passi alpini praticabili fra l'XI e il XV secolo, non lo erano più fra il XV e il XVIII. Queste oscillazioni secolari trovano la loro ragione nelle secolari differenze, certe benchè misteriose, che presenta la meteorologia alpina. Un eccesso diuturno di siccità è la causa più favorevole al regresso dei ghiacciai, mentre il loro progresso dipende principalmente da eccesso di umidità e di pioggia. Tanto si deduce dall'osservazione e dall'esperienza.

Passiamo ora agli effetti della seconda categoria, a quelli cioè che si riferiscono al detrito, il quale si accumula sulla superficie del ghiacciajo, e può venire in seguito ricoperto dagli strati più recenti di neve o di ghiaccio, o ingojato dai crepacci. Il fenomeno della degradazione dei continenti è fenomeno fondamentale per la geologia, ma acquista una speciale importanza per quella che abbiam detta geologia continentale. Non v' ha clima sì costante, non v' ha cielo così clemente, che salvi le rocce da quell'inevitabile sfacelo che rivela ovunque i danni del tempo. Il fenomeno però assume nelle Alpi proporzioni meravigliose. L'umidità quasi costante, il gelo e disgelo continui le sfasciano. Questo spettacolo di rovina grandeggia principalmente ai limiti e sopra i limiti delle nevi perpetue. Ai campi di neve, a' circhi di nevischio sovrastano creste e denti e aguglie di nuda roccia. Vi hanno dei versanti sulle Alpi dove nessuno vorrebbe perigliarsi, sotto la continua mitraglia della frana. Il piede d'un uomo, l'ugna d'un camoscio, basta a mettere in moto una valanga di sassi. La maggior parte di quel detrito si arresta naturalmente sui due lati del ghiacciajo che riempie la valle. Intanto il ghiacciajo cammina, seco portando il sovrapposto detrito. I massi si infilano l'uno dietro l'altro, e quello che si è mosso in prima incontra ben presto un novello compagno che staccossi in quell'istante da una rupe che sorge più basso nella valle, poi un terzo, poi un quarto. Così si forma la morena laterale, destra o sinistra che sia, che cammina e cresce, come un treno di ferrovia che s' ingrossa ad ogni stazione, senza che i primi passeggeri s'arrestino. È molto notevole per noi il fatto che il detrito, cui tributa un versante, non può mai confondersi col detrito dell'altro. Vi si oppone assolutamente la forma tondeggiante del ghiacciajo, che erige come una montagna fra i suoi due versanti. È solo in via d'eccezione che qualche masso, scendendo a balzi, invece di sdrucciolare sui fianchi della montagna, riesce a posare sui liberi campi di ghiaccio, ombreggiandone la superficie, che allora si eleva in rapporto col piano di ghiaccio circostante, dove l' ablazione è più rapida e si trasforma in tavola di ghiaccio. Se due ghiacciai, come fanno due fiumi, s'incontrano nella stessa valle, confluiscono insieme, rimanendo però distinti l'uno dall'altro, stante la loro solidità. Col confluire dei due ghiacciai, confluiscono la morena destra dell'uno colla morena sinistra dell'altro, e nasce una morena mediana, composta di due, che proseguono unite il loro cammino. Se ai due ghiacciai confluenti si uniscono un terzo, un quarto, ne nasceranno altrettante morene intermedie, le quali cammineranno come le prime.

Visto come si formano le morene laterali, e le morene mediane o intermedie studiamo come si accrescano. Se si trattasse soltanto delle laterali, potremmo credere che il loro crescere da monte a valle dipenda unicamente dall'aggiunta di nuovo detrito, che viene a posarsi sul ghiacciajo, mano mano che il ghiacciajo discende. Ma si può egli dir questo delle morene mediane o intermedie, le quali, dal momento che si formano, da quel punto, cioè, ove succede la confluenza, si svolgono nel mezzo del ghiacciajo, sicure da ogni incursione di massi o di frane? No, certamente. Eppure quelle morene crescono; crescono continuamente; crescono talvolta a dismisura. La morena mediana dell'Aar (fig. 4), la quale non misura che 75^m di larghezza verso l'origine, ne vanta poi 750 verso la foce, dove riesce a coprire quasi per intero il ghiacciajo. Talvolta le morene intermedie sembrano nascere dal seno stesso del ghiacciajo, lontano da ogni rupe da cui possa derivare il materiale di cui si compone. Di queste morene nascenti ne vediamo più d'una sul ghiacciajo della Pasterze (fig. 8).

Questo fenomeno, rimasto lungo tempo un problema, si spiega ora nel modo più naturale. Basta riflettere che un ghiacciajo presenta due periodi di evoluzione, l'uno contrario all'altro. Nel primo periodo, finchè, voglio dire, il ghiacciajo si trova nelle regioni più alte, dove le nevi si accumulano e l'ablazione è nulla o scarsa, esso ghiacciajo si fa, cioè si compone colla sovrapposizione successiva degli strati. Il detrito che cade sul ghiacciajo entro i limiti della regione dove il ghiacciajo si fa, resta mano mano, come abbiam detto, coperto dagli strati successivi di neve e di ghiaccio, obbligato a camminare col ghiacciajo nell'interno di esso. Nel secondo

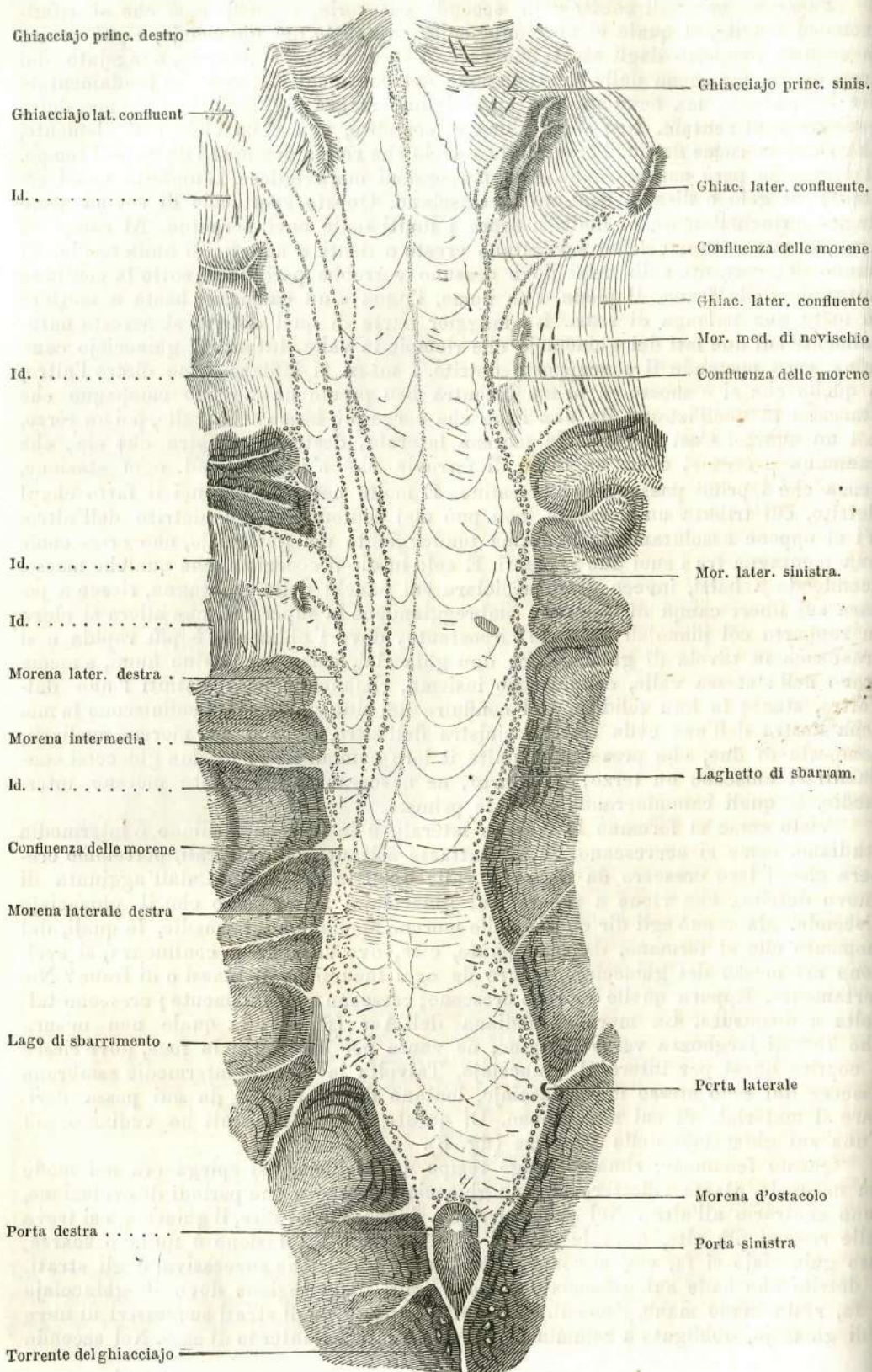



Fig. 8. — Topografia del ghiacciajo della Pasterze nella valle dell'Oetz nell'alto Tirolo.

periodo, cioè nella regione inferiore, dove l'ablazione non fa che struggere l'uno dopo l'altro, dalla superficie al fondo, gli strati di ghiaccio, formanti il ghiacciajo, il detrito, dove cade (cioè sui lati del ghiacciajo), rimane intatto alla superficie; anzi quello che si trova nell'interno del ghiacciajo, tanto sui lati come nel mezzo, viene a poco a poco a scoprirsi, a ricomparire alla superficie, mano mano che si dilegua il ghiaccio che lo ricopriva. Così, nelle regioni più basse, al detrito superficiale, che forma le morene o sui lati o nel mezzo, si aggiunge il detrito che va mano mano comparendo alla superficie, quasi emergendo dal ghiaccio. Quanto a quelle morene, che abbiamo chiamate nascenti, suppongasi che una morena mediana nasca dalla confluenza di due ghiacciai nella regione dove il ghiacciajo si fa. I massi che la compongono, o meglio dovrebbero comporla, scompariranno mano mano sotto gli strati di nevi e di ghiaccio che si vanno a loro soprapponendo; ma ricompariranno nella regione ove il ghiacciajo si disfà, e apparirà la morena mediana come nascente dalle stesse viscere del ghiacciajo.

Non ci saremmo intrattenuti di questi particolari, che possono sembrare troppo minuti in questo libro, se non ci dovessero servire di ragione delle forme e dei caratteri diversi che presenta il detrito glaciale, forme e caratteri che ci serviranno a distinguere un tale detrito anche nelle regioni lontanissime dai ghiacciai, e a fissare per ciò i limiti e lo sviluppo di quella invasione glaciale, intorno alla quale specialmente si aggira la storia dell'Italia nell'êra neozoica.

Per continuare, giova riflettere che il detrito, il quale ricopre il ghiacciajo nelle regioni inferiori, è venuto alla superficie di esso per due diverse vie. Una porzione cioè si è arrestata immediatamente sul ghiacciajo, franando dalle montagne, e non è nè sarà mai più coperta dal ghiaccio. Un' altra porzione invece, caduta nelle regioni superiori, e sepolta sopra cento strati di nevi e di ghiaccio, non è venuta alla superficie nelle regioni inferiori che vomitata, per così dire, dal ghiacciajo stesso, dopo aver dimorato e camminato lungo tempo nelle sue viscere. Perciò i due detriti si trovano insieme a formar le morene, ma presentano delle forme ben diverse l'uno dall'altro. I ciottoli e i massi, che si arrestarono sulla superficie del ghiacciajo già in via di struggersi, vi rimasero intatti, come galleggianti sul ghiaccio, conservando le loro forme native, cioè le faccie piane, gli spigoli acuti, la forma poliedrica insomma caratteristica dei massi che si staccano naturalmente franando. I ciottoli e i massi invece i quali dimorarono dentro il ghiacciajo, e camminarono col ghiacciajo, furono, chi sa per quanto tempo, sottomessi a forti pressioni, soggetti a movimenti irregolari e alla forza erosiva del ghiaccio. Poi si consideri che il ghiaccio è tutto seminato di fango e di sabbia quarzosa, e che ciascun masso si trova in cammino con cento altri di diversa natura, i quali lo pigiano, lo arrestano, lo avanzano, lo urtano, a seconda dei movimenti del ghiacciajo, i quali sono diversi, cioè più veloci e più tardi, per ogni porzione, per ogni atomo di ghiaccio. Pensi il lettore come deve trovarsi in tali circostanze un ciottolo di molle calcare o di serpentino rimpetto ad un ciottolo di quarzo o di granito. Un granello di sabbia non può passare rasente a un ciottolo di calcare senza scalfirlo, e un ciottolo di granito senza scanalarlo. Per tutte queste ragioni un masso qualunque che si trovi entro il ghiacciajo non ne escirà che spezzato, diviso in frantumi, e questi ottusi e irregolarmente arrotondati, come di sotto a una lima che li involgesse mentre li graffia. Se parliamo poi dei ciottoli di calcare, di serpentino o d'altre rocce relativamente molli, essi usciranno alla luce, alla superficie del ghiacciajo, graffiati, scalfiti, scanalati e sopratutto finamente striati. Uno di tali ciottoli è dise-

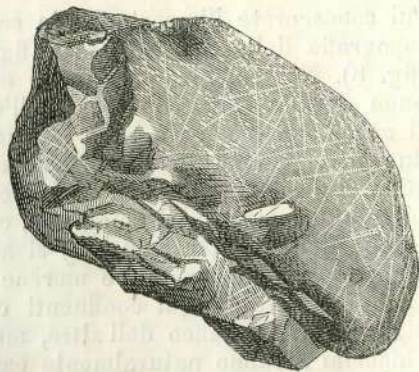



Fig. 9. — Ciottolo glaciale striato.

gnato nella fig. 9. Quanto ai massi che rimangono intatti (e dovranno essere rispettivamente più grossi) se ne vede tutta composta la morena mediana del ghiacciajo della Pasterze (fig. 10), dalla quale possono prendersi i modelli dei grandi massi poliedrici, che vedremo più tardi disseminati sulle Alpi e a' piedi delle Alpi cento miglia lontano da qualunque ghiacciajo.

Tutti questi massi o ciottoli, intatti o guasti che siano, colle sabbie, col fango, formanti le morene sulla superficie del ghiacciajo, sono portati in giù dal ghiacciajo stesso, precisamente come il legname abbandonato ad una corrente. Così camminando si ingrossano, per l'aggiunta di nuovi massi, e per la confluenza di nuove morene derivate dalla confluenza di nuovi ghiacciai. Qui notate un fenomeno, di

Fig. 10. — Gruppo di morene della Pasterze.

cui conoscerete l'importanza in seguito, e che si vede molto ben espresso dalla topografia della *Mer de glace* (fig. 3) e da quella del ghiacciaio della Pasterze (fig. 8). Noi vediamo nell'una e nell'altra figura come le morene, distribuite in buon numero sulla superficie dell'uno e dell'altro ghiacciajo fin verso il loro sbocco, si accostano a poco a poco le une alle altre, sicchè le mediane si fondono colle due laterali, che rimangono sole nella parte più bassa del ghiacciajo fin dove termina. Le quattro morene mediane della *Mer de glace* (fig. 3) finiscono a buttarsi tutte sulla destra del ghiacciajo, e a fondersi pertanto colla morena laterale destra. Quelle della Pasterze (fig. 8) si accostano parte alla destra, parte alla sinistra, fondendosi colle rispettive morene laterali. La ragione di questo fenomeno è semplicissima. I ghiacciai confluenti camminano insieme, riempiendo la stessa valle, pigiati l'uno a fianco dell'altro, ma rimanendo distinti l'uno dall'altro. Ma i piccoli ghiacciai faranno naturalmente cammino men lungo. Dove terminano, strizzati in punta, per effetto della compressione laterale, cederanno le loro morene ai più grandi che li fiancheggiano, e vanno a terminare più basso. Avverrà così che alla fine il maggiore dei ghiacciai confluenti rimanga solo, raccogliendo l'eredità dei ghiacciai minori, rimanendo cioè il detrito delle loro morene alle due morene laterali che lo fiancheggiano. Ciò che importa a noi di constatare intanto è questo che il detrito, formante le morene, fossero esse cento, si raccoglierà tutto finalmente o sulla destra o sulla sinistra del ghiacciajo, secondo che il detrito proviene dai versanti destri o dai sinistri della valle, o piuttosto dai versanti a destra o a sinistra del maggiore ghiacciajo confluente con altri nella stessa valle. In poche parole il detrito glaciale rimarrà distinto secondo i versanti dello stesso ghiacciajo.

Che avverrà ora delle morene o divise, o riunite che esse sieno? Finchè il ghiacciajo progredisce, le morene progrediscono anch'esse. Ma dove il ghiacciajo termina, il detrito glaciale si arresta, e giace abbandonato nel letto della valle o sul piano dove il ghiacciajo si arresta. Supponiamo che la fronte del ghiacciajo persista per secoli sulla stessa linea che lo circoscrive in oggi. E ciottoli, e massi, e sabbie si arresteranno su quella linea ugualmente per secoli, si accumuleranno, formeranno un mucchio lineare, ossia una collina. Quella collina è la *morena frontale*, che in sè concentra, finchè dura il ghiacciajo su quella linea, tutto intero il prodotto delle morene. La morena frontale del ghiacciajo di Visch è ben espressa nella figura 6 e quella della *Mer de glace* nella fig. 3.

Quando il ghiacciajo termina in luogo aperto, come sul piano, o sul fondo di una valle molto larga, la sua fronte disegna un arco, o una linea ogivale, sporgente a valle. È un effetto questo di quell'impulso che spinge colla massima velocità la parte mediana del ghiacciajo, e con velocità sempre minore le parti laterali, verificandosi il minimo di velocità sui limiti laterali del ghiacciajo. La morena frontale intanto è costretta a prendere anch'essa questa forma arcuata od ogivale, sicchè, quando il ghiacciajo sparisse, disegnerebbe un *anfiteatro morenico*, il cui recinto si allarga verso la valle, appoggiando le due estremità dell'arco ai due opposti fianchi della valle stessa. Ritenga bene il lettore questa forma ad anfiteatro, caratteristica delle morene frontali, perchè di anfiteatri morenici dovremo parlare assai nel corso di quest'opera. La potenza di una morena frontale, dipendendo dalla durata della permanenza del ghiacciajo sulla stessa linea frontale, è indefinita. La morena frontale del ghiacciajo di Macugnaga è una collina che sbarra la valle, coperta di secolari foreste. Ha un'altezza di forse 200^m, e migliaja d'anni d'età.

Ho detto che la morena frontale si forma e si accresce indefinitamente, quando il ghiacciajo rimanga stazionario. Se progredisce? Spinge innanzi la morena, la rovescia, poi, se fa d'uopo, la scavalca e discende a fabbricare più basso un'altra morena. Se invece il ghiacciajo si ritira? Badiamo bene a ciò che avviene in questo caso.

Se il ghiacciajo, per eccesso di ablazione si ritira, cioè si restringe in sè stesso, portando più a monte il suo confine, esso abbandona naturalmente la morena frontale già formata, la quale rimane al suo posto sotto forma di anfiteatro arcuato. Il ghiacciajo stesso poi ricomincia più alto la costruzione di una nuova morena, cioè di un nuovo anfiteatro compreso nel primo, o, come direbbesi, concentrico. Coi successivi periodi di regresso potrà così il ghiacciajo edificare una serie anche numerosa di anfiteatri o piuttosto un *anfiteatro morenico*, composto di più circhi concentrici. Ciò è espresso nella fig. 11 che presenta la sezione longitudinale di un ghiacciajo, che in quattro successivi periodi di regresso ha edificato e abbandonato successivamente una prima morena frontale in *a*, una seconda in *b*, una terza in *c*, e sta edificandone una quarta in *d*.

Nell'atto che il ghiacciajo si ritira, abbandonando la morena frontale, anche si abbassa. Nella fig. 11 le linee punteggiate segnano le altezze da cui discese il ghiacciajo mano mano che abbandonò, ritirandosi, le morene *a*, *b*, *c*. È facile intendere che così risiedendo, debba, come fabbricò e abbandonò successivamente le morene frontali, fabbricare e abbandonare successivamente le morene laterali, le quali rimarranno in forma di mucchî lineari, di gradini paralleli sui fianchi della valle.

La fig. 12 rappresenta la sezione trasversale di un ghiacciajo, il quale, in quattro successivi periodi di sosta e di abbassamento ha fabbricato e abbandonato da un lato le morene laterali *a*, *b*, *c*, dall'altro lato le morene laterali *a'*, *b'*, *c'*, e sta ora edificando le morene laterali *d*, *d'*.

Importano assai, per cio che vedremo in seguito, due forme di morene, le quali, benchè indicate con nomi diversi, non sono che modalità, l'una delle morene laterali, l'altra delle frontali. Un modo speciale di essere delle morene frontali è infatti la *morena insinuata*, sotto il qual nome si indicano quei vasti e poderosi ammassi morenici, i quali si insinuano e colmano le grandi sinuosità sui fianchi

della valle occupata dal ghiacciajo, o le valli laterali ad esso. Ne abbiamo una vastissima sul fianco destro della Pasterze (fig. 8) in prossimità dello sbocco destro di quel ghiacciajo, dove determina per sbarramento il lago di cui parleremo più tardi. Più enormi ancora sono gli accumulamenti morenici, indicati dagli spazî punteggiati sulla destra e sulla sinistra della *Mer de glace* (fig. 3). È naturale che il ghiacciajo, insinuandosi per la sua plasticità nei seni e nelle valli laterali, vi

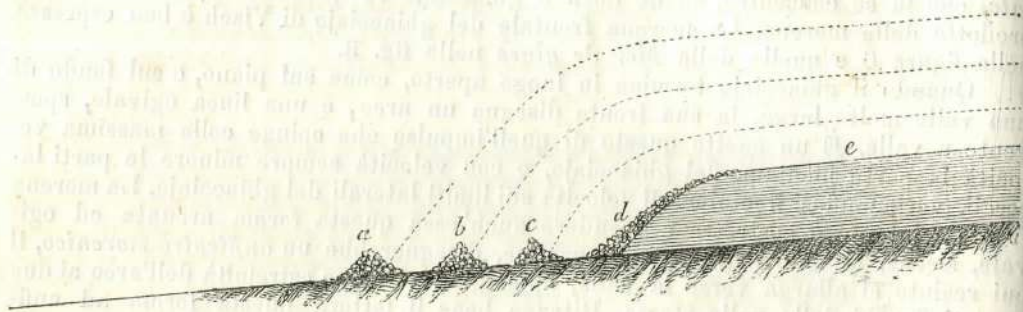



Fig. 11. — Sezione longitudinale d'un ghiacciajo in regresso e delle rispettive morene frontali.

porti seco la sua morena. In questo senso la morena insinuata non è che porzione di morena laterale. Si differenzia però da questa per la sua grandezza e per la sua persistenza. Una volta che un seno laterale alla valle sia ripieno, per effetto dell'espandimento laterale del ghiacciajo, il ghiaccio che vi è rinchiuso rimane sta-

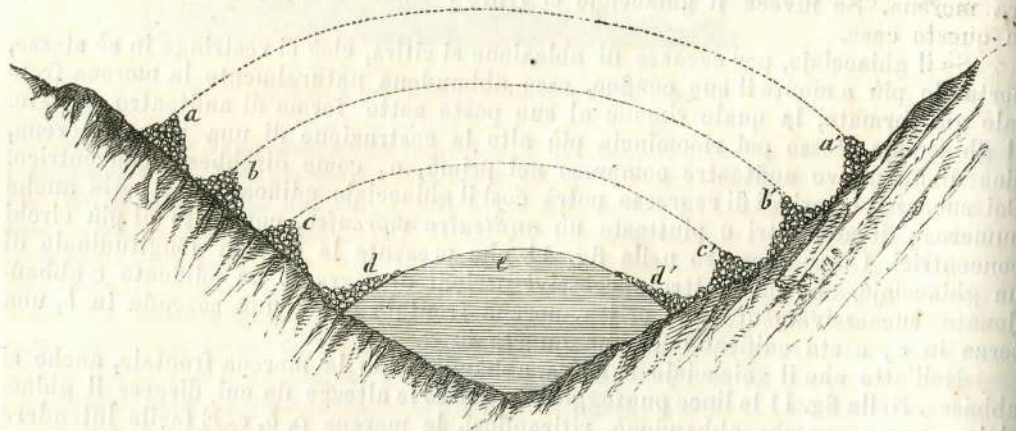



Fig. 12. — Sezione trasversale di un ghiacciajo in regresso e delle rispettive morene laterali abbandonate.

gnante, come avviene dell'acqua nelle lanche, ossia nei seni o nelle anse laterali ai fiumi, dove essa stagna in guisa da convertirli in paludi. Ma nel seno laterale al ghiacciajo non può mancare, anzi dev'essere più forte l'ablazione, prodotta dall'irradiazione delle rocce che circondano il seno. Perchè si mantenga l'equilibrio fra la massa di ghiaccio che riempie il seno, e quella del ghiacciajo dai cui deriva, è necessario un continuo afflusso di ghiaccio da questo a quello. Da ciò un continuo afflusso di detrito, che rimarrà stagnante entro il seno, e finirà a colmarlo interamente. Se poi il ghiacciajo, ritirandosi, risiede, la morena laterale sul fianco

della valle, quando il pendio sia ripido, potrà facilmente discendere col ghiaccio, per difetto di sostegno sufficiente, ovvero essere portato giù a gradi dalle acque pluviali. Ma i cumuli insinuati troveranno facile appoggio entro il seno, e saranno difesi contro l'erosione acquea dalla stessa loro potenza. Per ciò non è raro il caso, anche nei ghiacciai attuali, che la morena laterale sia distrutta, mentre rimangono intatte le morene insinuate, testimonî non dubbî del livello più alto occupato dal ghiacciajo precedentemente.

Un modo speciale di essere invece della morena frontale è la *morena d' ostacolo o di rivestimento*. Si verifica più volte il caso che la valle si divida in due, per un rilievo montuoso che si eleva nel mezzo. Il ghiacciajo, discendendo, urta colla sua fronte il rilievo. Ma, stante la propria plasticità, il ghiacciajo stesso si ripiega contro l'ostacolo, e si divide in due rami, per seguire il corso delle due valli. La morena frontale dovrà naturalmente ripiegarsi anch' essa quasi abbracciando l'ostacolo. Se avvenga che il ghiacciajo si ritiri, abbandonando la sua morena, essa rimarrà avvinghiata intorno all'ostacolo, e l'indicheremo come *morena d'ostacolo o di rivestimento*. Si osservi un'altra volta il ghiacciajo della Pasterze (fig. 8), che non potrebbe venir meglio a proposito. Quasi all'estremità inferiore del ghiacciajo si leva appunto dal mezzo della valle una montagna, e la valle è obbligata per un po' di tempo a dividersi in due. Il ghiacciajo fa naturalmente lo stesso: s' insinua egualmente nelle due valli, e termina conseguentemente con due porte, da cui escono due torrenti. La morena frontale si è ripiegata anch'essa, ed è disegnata con una zona punteggiata a monte della rupe, offrendo il migliore esempio di morena d'ostacolo. Se il ghiacciajo della Pasterze fosse più potente e facesse quindi maggior corso, si avanzerebbe oltre l'ostacolo; i due rami del ghiacciajo si unirebbero ancora in un sol tronco, e la rupe, che serve d' ostacolo, diverrebbe un' isola in mezzo al ghiacciajo, rivestita alla base dalla morena frontale. Parecchie di queste isole si osservano pure nella parte a monte del ghiacciajo della Pasterze (fig. 8 e 10), e quante montagne, quanti gruppi di montagne vedremo alla base delle Alpi, le quali erano isole in seno agli antichi ghiacciai!

Terminato ciò che riflette la formazione, le modificazioni, la distribuzione del detrito morenico, eccoci ai fenomeni della terza categoria, agli effetti cioè prodotti dal ghiacciajo, riferibili alle rocce in posto, alle rocce cioè che formano il fondo e i fianchi della valle occupata dal ghiacciajo.

Il ghiacciajo non aderisce mai se non accidentalmente, nè alle pareti, nè al fondo della valle. Dei vani molto considerevoli lo staccano ordinariamente nella parte superiore dalle pareti delle montagne che lo fiancheggiano. Ciò appare benissimo nella fig. 7. Sul fondo stesso della valle il ghiacciajo semplicemente pesa: anzi, fra esso e la roccia, esiste sempre uno strato di ciottoli, di ghiaja, di sabbia, specialmente di fango impalpabile, della finezza dello smeriglio, prodotto dallo stesso strofinio del ghiacciajo contro la roccia. Movendosi il ghiacciajo in questa condizione opera a guisa d'una gran lima, finissima, ma armata quà e là di denti e di graffi. È necessario per ciò che le rupi sottoposte al ghiacciajo soffrano, sotto così enorme pressione, dei danni analoghi a quelli che abbiam già verificato nei massi e nei ciottoli che camminano entro il ghiacciajo. Il finissimo fango liscia la roccia a modo di smeriglio, la arrotonda, riducendo a poco a poco la punta acuta d'un scoglio alla forma di dorso arrotondato. I grani di sabbia intanto incidono su quel dorso dei solchi finissimi, cioè delle striature; i ciottoli prominenti v'incideranno dei solchi più profondi, ossia delle scanalature. In fine, quando il ghiacciajo si ritira, la rupe da esso elaborata come abbiamo detto, ne uscirà lisciata, tondeggiante, striata, scanalata. Qui però le striature e le scanalature saranno distinte da esatto parallelismo, come avviene del ferro lavorato dalla lima, quand' essa mantenga invariabilmente, come mantiene il ghiacciajo, la stessa direzione. Ciò che abbiamo detto del fondo della valle, si applichi ai fianchi, partendo da quella linea, dove, per effetto del peso della parte superiore del ghiacciajo, si mantiene il contatto fra il ghiaccio e la roccia. Le rupi che fiancheggiano il torrente che sgorga dal ghiacciajo di Visch (fig. 6) si mostrano arrotondate e striate. Questo

è segno che il ghiacciajo ebbe già uno sviluppo maggiore, sicchè esso scorreva dove ora scorre il torrente. Fu allora che il ghiacciajo potè arrotondare e striare le rupi suddette. È questo del resto un fenomeno comune per le Alpi, mentre si trovano dappertutto, in vicinanza dei ghiacciai, rupi arrotondate e lisciate, le quali indicano che tutti i ghiacciai delle Alpi ebbero dei periodi di maggiore sviluppo.

La quarta categoria, dei fenomeni che stiamo studiando, comprende gli effetti riferibili alle acque fluenti dal ghiacciajo o dentro i suoi dominî. Un ghiacciajo sgocciola sempre, d'estate e d'inverno. Lo mantengono madido le pioggie, e principalmente l'ablazione, la quale avviene, non solo alla superficie, ma anche nell'interno. Ciò è tanto vero che il ghiacciajo sgocciola sempre, anche quando il gelo lo stringe alla superficie. Durante l'estate poi il sole mantiene alla superficie del ghiacciajo un ricco sistema di ruscelli e di torrenti, i quali finiscono a precipitarsi entro i crepacci, scavando nel ghiaccio quei pozzi, quelle voragini, che rendono talvolta così pericoloso il viaggiare sui ghiacciai. Gli stillicidi del pari che i torrenti si raccolgono naturalmente sul fondo della valle sotto il ghiacciajo, e abbiamo veduto come escano dalla porta del ghiacciajo stesso, formando un torrente, la cui potenza è proporzionata alla potenza ed alla estensione di esso. Quel torrente è torbido sempre, talvolta eccessivamente, mentre seco trascina il fango elaborato dal ghiacciajo, mediante l'erosione delle rocce in posto, e l'erosione e lo stritolamento dei ciottoli e dei massi. Il torrente, uscendo dal ghiacciajo, urta contro la

Fig. 13. — Breccia prodotta da una irruzione torrenziale nella morena frontale del ghiacciajo di Macugnaga.

morena frontale e la demolisce, distribuendo sulla propria via le sabbie, le ghiaje, i ciottoli, e talvolta i massi più poderosi. Così dal sistema delle morene frontali si diparte, scendendo, un piano di alluvione fluvio-glaciale, capace di sviluppo indefinito. Si verificano talvolta delle vere irruzioni torrenziali, che cagionano molto guasto alle morene frontali, portando in basso anche il detrito più grossolano e gli stessi massi, come è avvenuto al ghiacciajo di Macugnaga nell'Agosto del 1868.

In seguito a grossi temporali e a pioggie continuate, il grande ghiacciajo del M. Rosa sopra Macugnaga, dovette trovarsi così inzuppato, da determinare una potente pressione idrostatica, contro la morena frontale che si addossa al ghiacciajo stesso, sbarrando la valle. In fatti quella colossale barriera fu d'improvviso forzata, aprendosi, con fragore di tuono, da cima a fondo una breccia della lar-

ghezza di 60 a 70 m. Il piano già erboso tra Macugnaga e la morena, sopra un'estensione d'un chilometro quadrato e più, non è altro al presente che una secca di massi, i quali misurano fin da 4 a 8 metri cubici. La fig. 13 mostra la fronte del ghiacciajo in parte ancora scoperta e ai piedi della parete di ghiaccio, la piccola porta d'ond'esce il torrente.

Lateralmente ai grandi ghiacciai, che discendono molto basso, sboccano sovente delle valli percorse da torrenti, nudriti talvolta da minori ghiacciai, che non riescono a divenir confluenti. Il torrente laterale, urtando contro il fianco del ghiacciajo, vi apre una *porta* laterale d' ingresso. Questo si verifica per es. pel

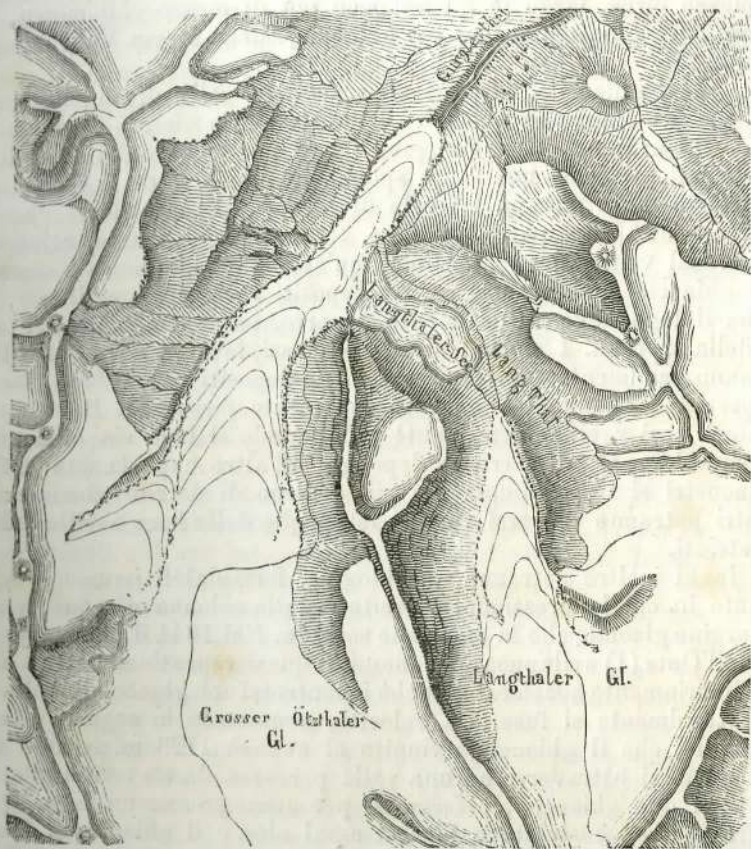



Fig. 14. — Carta del ghiacciajo di Gurglerthal.

ghiacciajo del Forno sopra S. Caterina di Bormio; mentre il torrente che discende lateralmente dalla valle di Cedeh urta contro il suo lato destro, e, scavatavi per disgelo una porta, diviene, sotto il ghiacciajo, confluente del torrente dallo stesso ghiacciajo nutrito, ed esce con esso dalla porta del ghiacciajo, formando il Frodolfo. Anche sul lato sinistro della Pasterze (fig. 8) vedesi una porta laterale scavata da un torrente che vi confluisce.

Avviene anche però, quando il ghiacciajo è potente e grossa la sua laterale morena, che le correnti laterali non valgano a traforarlo. In questo caso il ghiacciajo colla sua morena laterale s'incrocia colla valle laterale a modo di un argine. Un ruscello basta, in questo caso, perchè la valle sbarrata si trasformi in lago fino all'altezza che gli consente l'altezza del ghiacciajo. È celebre per questo il lago di Moeril, tenuto come sospeso dal ghiacciajo di Atetsch, mantenuto in comunicazione colla valle del Rodano mediante un canale artificiale di scolo. Anche

il lago della Pasterze (fig. 8) è sostenuto sulla destra dal ghiacciajo dello stesso nome, o meglio dalla grande morena insinuata, di cui abbiamo già fatto parola. Un bellissimo esempio di un lago che occupa una valle sbarrata da un ghiacciajo, ed è nutrito da un ghiacciajo laterale, indipendente, ci è offerto dal lago dalla Val-Lunga nell'alto Tirolo (fig. 14). Il grande ghiacciajo della valle dell'Oetz (Grosser oetzthaler-Gletscher) alimenta il torrente della valle di Gurgl (Gurglerthal) piccolo confluente della Oetzthal. Nella sua discesa lungo la valle viene a sbarrare la laterale Val-Lunga (Langthal). Quella barriera è invincibile, perchè il ghiacciajo discende circa un chilometro e mezzo sotto il confluente. Essa ha quindi determinata la formazione di un lago (Langthalersee) della lunghezza di un chilometro e mezzo circa, largo in media poco più di mezzo chilometro, che riceve lo scolo d'un altro ghiacciajo, cioè del ghiacciajo della stessa Val-Lunga (Langthaler-Gletscher).

I laghi, che i ghiacciai formano sbarrando le valli, divengono naturalmente la sede di speciali fenomeni: speciali in questo senso che, ai fenomeni che si producono nei laghi ordinarî, si aggiungono quelli derivanti dalle speciali condizioni dei laghi glaciali. Siccome una delle sponde di questi laghi è formata dal ghiacciajo, o piuttosto dalla morena laterale di esso, è da prevedersi che la morena stessa frani sovente dalla parte del lago, tanto più che l'onda, relativamente tepida e mossa dal vento, deve esercitare un'azione erosiva fisica e meccanica assai potente sul ghiaccio e sulla morena. Ai depositi regolari, stratificati, argillosi o sabbiosi, che il lago deve naturalmente deporre, assai facilmente si associerà lo sfasciume della morena. I ciottoli striati, i massi, le rupi, sdrucciolanti dal ghiacciajo, dovranno facilmente infossarsi nei molli depositi che il lago forma, per rimanere coperti poi da quelli che andrà in seguito formando. Il riempimento del lago procederà così rapidamente, tanto più quando il lago sia alimentato da un ghiacciajo superiore, il cui torrente deponga all'altro capo la sua torbida. Così gli strati lacustri si troveranno misti più o meno di detrito glaciale: così negli strati lacustri potranno trovarsi riunite le spoglie delle flore e delle faune terrestri ai ciottoli striati.

Questi laghi inoltre potranno dar luogo a formidabili irruzioni, appena tocchino il punto in cui la pressione, esercitata dalla colonna d'acqua, vinca la resistenza dell'argine glaciale che la mantiene sospesa. Nel 1844 il ghiacciajo di Vernagt nella valle dell'Oetz (1) sviluppossi, gonfiandosi quasi repentinamente, e discese, con moto straordinariamente accelerato, finchè incontrossi col ghiacciajo della Rosenthal, e con lui naturalmente si fuse. La velocità, acquistata in seguito a tale congiungimento, fu tale, che il ghiacciajo riunito si avanzò 1123 m. in 566 giorni. Così pervenne a gettarsi attraverso ad una valle percorsa da un torrentello, che traeva origine da altri due ghiacciai, e formossi per conseguenza un lago. Quì cominciò una lotta fra il lago, costretto a levarsi assai alto, e il ghiacciajo. Talora il lago, prevalendo coll'incubo suo, sfondava il ghiacciajo; e talora era desso, dall'accrescersi del ghiacciajo, tenuto prigione. Avvenne anche che l'acqua trovasse un'uscita, scavando una caverna nella massa ghiacciata, ma non vasta abbastanza, perchè il lago non si mantenesse. Tre anni dopo, cioè nel 1847, il lago misurava una lunghezza di 1200 m. La sua profondità era veramente maravigliosa, giungendo a 85 m.; e crebbe ancora più tardi. La massa d'acqua, tenuta così sospesa dalla muraglia glaciale, si calcolò ascendere a 230 milioni di piedi cubici. Rotta finalmente la diga, ne avvenne una spaventevole inondazione; un masso di 4000 piedi cubici fu travolto alla distanza di parecchie centinaja di passi (2).

I fatti citati e analizzati fin quì mostrano quanto sia ricca la serie di questi

(1) La valle dell'Oetz (Oetzthal), appartenente al Tirolo tedesco, confluisce nell'Inn, 30 miglia circa a ponente di Innsbruck.

(2) Il cataclisma del Vernagt è la ripetizione di quello che fu cagionato dal ghiacciajo di Giétroz nel 1818, quando, attraversatosi alla Dranse, determinò un lago lungo un chilometro, profondo 80 m., che, rotta la diga, spazzò con una cataratta formidabile detta valle, portando la rovina fin nella valle del Rodano.

effetti, che, rimanendo anche quando i ghiacciai siano scomparsi, possono permetterci di ristaurarli, di seguirne le tracce, fino al limite del cammino da loro percorso, per pedinarli poi anche nella loro ritirata, e sorprenderne le soste, per scoprirli finalmente nei loro ultimi recessi, o per fissare almeno il luogo della loro ultima dimora. Anzi la maggior parte dei fenomeni glaciali, ossia degli effetti permanenti che il ghiacciajo va producendo nel giro delle sue fasi, il geologo non può verificarli che sui luoghi abbandonati dallo stesso ghiacciajo. In questo senso il geologo è in migliori condizioni del fisico; ed è più facile fissare le evoluzioni degli antichi ghiacciai ora scomparsi, che riconoscere quelle dei ghiacciai che ancora esistono sulle vette delle Alpi. Per mostrare ad ogni modo come si possa riconoscere facilmente e ricostruire un ghiacciajo che o non esiste più, o si è molto ristretto, citerò alcuni fatti, da me stesso osservati in questi ultimi anni; durante i quali abbiamo veduto operarsi in piccolo, ciò che operossi in grande nell'epoca neozoica, più precisamente nel secondo periodo di essa, quando i ghiacciai alpini, dopo esser giunti, come vedremo, sui versanti italiani fino al mare, dovettero retrocedere fin entro gli angusti confini, dove li troviamo attualmente.

Ho già accennato che questi ultimi anni, dal 1861 al 1873 (1), segnano quello che si direbbe un periodo storico di regresso dei ghiacciai delle Alpi. Pare anzi che questo periodo fosse cominciato assai prima del 1861, dal qual anno principiano le mie osservazioni in proposito. Il ghiacciajo *Des Bois* si accorciò di 388 m. dal 1826 al 1865: quello *Des Bossons* perdette 332 m. dal 1854 al 1866: nello stesso periodo all'incirca ne perdettero 540 il ghiacciajo di *Tour* (Valle di Chamouny), e 181 quello di *Argentière*. Nel solo 1864 il ghiacciajo di Meandro (gruppo del M. Adamello in Tirolo) retrocesse 20 m. È sullo spazio abbandonato dai ghiacciai in questi ultimi anni che può dunque verificare facilmente il geologo quei fenomeni, sui quali può fondarsi, per stabilire ciò che ha di più caratteristico l'epoca neozoica in Italia e fuori.

Io mi recava infatti nel 1862 a visitare il ghiacciajo di Roseg, appartenente al gruppo della Bernina. Il caldo eccezionale del 1861 lo aveva costretto a perdere terreno. Infatti sul suo lato sinistro, abbandonata sul fianco della valle a circa 30 m. di distanza dal ghiaccio, vedevasi tutta fresca una morena, cioè un cumulo allungato di ciottoli e massi, parallelo al ghiacciajo. Era la morena del 1860. Intanto il ghiacciajo stava edificando una nuova morena, come si vede nella fig. 15 Alla distanza di circa 30 metri dalla morena del 1860, in seno ad una valletta, ai piedi di una rupe di granito che si alza a picco, vedevansi molti massi, ruderi d'un'antica morena, e tra questa e la morena del 1860 elevavasi una piccola catena di colli arrotondati di granito. Evidentemente il ghiacciajo di Roseg giungeva anticamente fino alla parete granitica, e poteva allora arrotondare i colli che formano la citata catena. Ritirandosi abbandonò la morena laterale *c*, e lasciò scoperti i colli arrotondati *d*. Arrestandosi lungo tempo sul limite *b*, edificò la morena, ch'io dissi del 1860, perchè abbandonata appunto fra il 1860 e il 1862, con un regresso di altri 30 m. Nello spazio che separava la parete superiore del ghiacciajo, dalla roccia granitica, vedevasi questa quasi levigata, e sparsa ancora di quel finissimo smeriglio, che aveva servito a levigarla.

Nel 1864 visitai il ghiacciajo del Forno sopra S. Caterina di Bormio, in Val Furva. Il suo tronco inferiore rade a destra, per un chilometro circa, il fianco della valle, che ha un pendio assai ripido, non tanto però che il detrito incoerente non vi si possa arrestare. I calori degli anni precedenti avevano dimagrato il ghiacciajo in guisa da obbligarlo ad abbandonare la sua morena laterale, la quale si vedeva correre lungo il pendio erboso a guisa d'un cordone o di un argine, formato da un cumulo lineare di massi, accatastati sulla lunghezza di un chilometro. Bisognava scavalcare quella diga, e discendere parecchi metri, per trovare il ghiacciajo, che stava rifabbricando più basso la sua morena. Nel 1873

(1) Fisso il 1873 perchè si spinge fino all'autunno di detto anno la verifica del regresso dei ghiacciai alpini da me fatta sui luoghi. Ma questo periodo di regresso continua probabilmente anche al presente, cioè nel 1875.

tornai di nuovo a vedere quel ghiacciajo. Le avarie sofferte in nove anni di continua siccità relativa non erano che troppo visibili. La porta del ghiacciajo, cioè quella spaziosa caverna di ghiaccio, che probabilmente fece dare da tempo immemorabile a quel ghiacciajo il nome di Forno, si era sfondata. Il ghiacciajo stesso si era

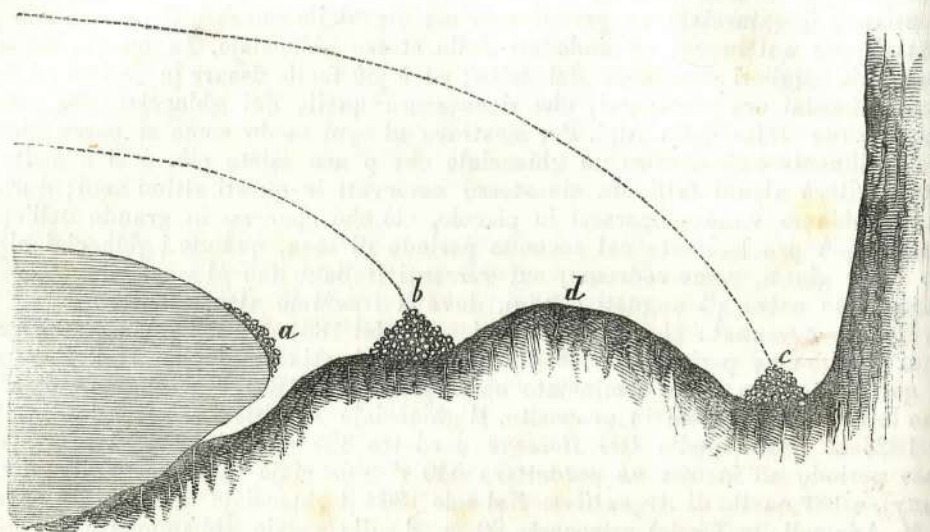



Fig. 15. — Sezione trasversale sul lato sinistro del ghiacciajo di Roseg nel 1862. *a.* Morena laterale sinistra. — *b.* Morena del 1860. — *c.* Antica morena. — *d.* Colle di granito arrotondato dal ghiacciajo.

accorciato e abbassato d'assai. Dalla morena laterale, che io aveva già trovata abbandonata nel 1864, bisognava discendere circa 30 m. per giungere alla superficie del ghiacciajo. Il fianco della valle rimasto libero era tutto una catasta di massi disposti sopra un piano inclinato ripidissimo. Ma, ciò che mi colpì maggiormente fu l'apparato frontale lasciato dal ghiacciajo nel corso della sua ritirata sopra lo spazio relativamente enorme di 180 m. e più. Si distinguevano benissimo rilevate, sopra l'incomposta catasta di ciottoli e di massi che ricopriva il fondo della valle, due morene frontali, cioè due cordoni o argini, in forma d'arco; la morena esterna distava già 180 m., l'interna 90 m. dalla fronte del ghiacciajo.

Come ultimo esempio della demolizione dei ghiacciai in questi ultimi anni citerò il ghiacciajo di Macugnaga (fig. 13) da me visitato nel 1870. Esso si era abbassato 30 m. perdendo 40 metri in larghezza per ciascun lato. Tanto ad un dipresso indicavano le due morene laterali, rimaste ai fianchi del ghiacciajo, quasi due enormi muraglie, sovrastanti al ghiacciajo stesso, e consistenti in due grandi cumuli di detrito minuto e grosso. Il ghiacciajo aveva preso l'aspetto come di un fiume in massima magra, profondamente incassato fra due argini rovinosi.

Prima di uscire da questo argomento richiamiamo sommariamente i fenomeni che si presentano sullo spazio lasciato libero da un ghiacciajo, quando si ritira, o quando interamente si dilegua. Son dessi fenomeni che devono presentarsi in Italia fra le pianure e le vette nevose, se è vero che nell'êra neozoica i ghiacciai giunsero fino ai confini a monte delle attuali pianure, il che vuol dire, come verrà dimostrato più tardi, fino ai lidi del mare pliocenico. I fenomeni che dovremo osservare sono i seguenti:

1.° Le morene frontali e gli anfiteatri morenici attraverso alle valli, nell'interno o allo sbocco di esse, secondo che ciascun ghiacciajo si arrestò in seno alla rispettiva valle, o giunse fin oltre il suo sbocco.

2.° Le morene laterali sui fianchi delle valli, dove il pendio non sia stato troppo ripido per impedirne la fermata, e dove non siano state per avventura distrutte dalle acque pluviali o dai torrenti.

3°. Le morene insinuate, ossia i cumuli di detrito glaciale, colmanti i seni e le valli laterali a quelle percorse dagli antichi ghiacciai.

4.° Le morene di rivestimento o di ostacolo, dovunque si elevi una montagna, che produca il biforcamento della valle percorsa dal ghiacciajo.

5.° I ciottoli striati e i massi angolosi, detti massi erratici, e in genere il detrito con caratteri glaciali, formante le morene, o sparso sul fondo o sui fianchi della valle, o lungo tutta la via percorsa dal ghiacciajo.

6.° I depositi lacustro-glaciali nelle valli laterali, a monte delle morene laterali o insinuate.

7.° Le rocce lisciate, striate, arrotondate, sul fondo e sui fianchi della valle, fino ad un certo livello, indicante il massimo di rigonfiamento dell' antico ghiacciajo.

III.

GRUPPI E SISTEMI DI GHIACCIAI NELLE ALPI ITALIANE

Da quanto si è detto nel precedente capitolo sulla dinamica de' ghiacciai, dobbiamo dedurre che in tutte le regioni e in tutti i tempi, dacchè i ghiacciai poterono esistere, essi dovettero essere, come sono attualmente, vincolati, condizionati in tutto e per tutto alla orografia speciale delle diverse regioni. Ciò riguarda da prima la stessa esistenza de' ghiacciai, non potendo essi formarsi se non esistono montagne foggiate in guisa da permetterne la cremazione: poi riguarda la loro forma, la loro potenza, il loro sviluppo, il loro diverso andamento, e quindi tutti i fenomeni dipendenti dalla diversa loro costituzione e dal diverso andamento; perchè ogni ghiacciajo non è, per dir così, per rapporto alla orografia speciale della regione dove si forma, che ciò che è il modello per rapporto allo stampo. Se è vero che al principio dell'êra neozoica l'Italia (perciò che riguarda almeno la massima parte del suo rilievo, cioè le sue regioni montuose) era già formata, e presentava a un di presso la sua attuale configurazione; la disposizione e l'andamento dei ghiacciai, sviluppatisi a partire dal principio di quell'epoca, devono essere in tali rapporti coll'orografia attuale, che se essi tornassero a svolgersi dove sono scomparsi, si formerebbero quasi precisamente sul modello degli antichi; piglierebbero cioè le mosse dalle stesse alture, percorrerebbero le stesse valli, deporrebbero negli stessi luoghi le morene, lisceerebbero e strierebbero le stesse rocce, e troverebbero finalmente gli stessi sbocchi. Per ciò il ritrovare le tracce degli antichi ghiacciai in quei rapporti colla orografia attuale, che sono fissati dalla dinamica glaciale, nell'ipotesi che quei ghiacciai si sviluppassero di nuovo, ci fornirebbe una controprova del fatto che l'orografia attuale era già stabilita fin d'allora, rimanendo così appieno rischiarato e dimostrato, ciò che rimaneva ancora oscuro e indeciso, finchè le condizioni dei rilievi emersi dal mare dovevansi unicamente dedurre dallo studio dei sedimenti, cioè dalle tracce lasciate dal mare nei successivi periodi del suo ritirarsi dal continente. Ammesso poi che l'orografia dei continenti, quella dell'Italia nominatamente, fosse già stabilita al principio dell'êra neozoica, e che i ghiacciai allora sviluppatisi dovessero adattarvisi, ne viene di conseguenza che gli antichi ghiacciai allora sviluppatisi devono trovarsi cogli attuali in tali rapporti, i quali possono definirsi come rapporti d'identità. In fatti gli antichi

ghiacciai, che la geologia ricostruisce in base ai monumenti che di loro ci restano, non sarebbero altro che i ghiacciai attuali, considerati in una fase trascorsa di maggiore sviluppo: in altre parole, i ghiacciai attuali non sarebbero che residui degli antichi. Risulta da queste premesse che il punto più naturale di partenza per lo studio degli antichi ghiacciai d'Italia ci è offerto dai ghiacciai attuali, considerati nei loro rapporti colla attuale orografia, per considerarli in seguito come capaci di uno sviluppo pari a quello che ebbero un tempo. Si vedrà allora se i monumenti, lasciati da quei ghiacciai nella fase antichissima del loro reale sviluppo, siano appunto in corrispondenza coll'orografia attuale, ossia colla distribuzione e colla configurazione delle montagne e delle valli attuali. Ciò verificandosi, potremo dire senz'altro di conoscere l'Italia come si trovava al principio dell'êra neozoica e narrarne al tempo stesso la storia, descrivere cioè i fenomeni di cui fu teatro e i cambiamenti che ha subìto da quell'epoca in poi. Questo capitolo è dunque consacrato ad un breve studio dei ghiacciai attuali, in rapporto coll'orografia d'Italia.

L'orografia dell'Italia alpina e subalpina, la sola di cui ci convenga occuparci al presente, è costituita fondamentalmente dai versanti meridionali delle Alpi, che descrivono come una gran cerchia di massimi rilievi a settentrione della penisola. Dalle massime vette alpine si staccano, approssimativamente in senso normale alla catena principale, molte catene, che sono come i contrafforti delle Alpi, quindi una serie di catene minori, formanti un sistema parallelo alle Alpi, e che sogliousi chiamare Prealpi. Però il nome di Prealpi andrebbe propriamente riservato a quella catena di montagne compresa fra il lago di Como e il lago di Garda, che si stacca dalle Alpi per mezzo della Valtellina da una parte e dall'alta valle dell'Adige dall'altra, chiamandosi anche catena delle Prealpi lombarde. Quel complesso di rilievi forma come una gran massa montuosa, che si eleva sopra una base di 30 a 50 miglia di larghezza, degradando dalle cime più alte delle Alpi, fino ai confini settentrionali ed orientali della pianura, cioè dall'altezza del M. Bianco (4810^{m}), fino al livello dei laghi lombardi (da 68 a 199^{m} sopra il livello del mare).

La descritta massa è divisa in molte sezioni da un buon numero di valli principali, aventi quei caratteri che, nel linguaggio dei geologi, servono a distinguere le chiuse. Queste valli cioè figurano come altrettante spaccature, perpendicolari alla direzione del rilievo da cui dipendono, e lo incidono tutto, partendo dalle cime più elevate, e sboccando nel piano per giungere al mare. Il Po nasce dalla confluenza del massimo numero di queste valli nel piano, raccogliendo però anche le innumerevoli valli assai meno importanti che discendono dall'Appennino perpendicolarmente a questa catena, che costituisce l'ossatura dell'Italia peninsulare, e rimane momentaneamente straniera ai nostri studî.

È dalla configurazione delle valli alpine, cioè dai loro rapporti coi rilievi montagnosi, che dipendono la formazione e l'andamento dei ghiacciai attuali, come ne dipendettero gli antichi, secondo le premesse. Le valli subalpine presentano realmente una costituzione speciale, nella quale trovano ragione la costituzione dei nostri ghiacciai antichi e moderni, e i fenomeni speciali che distinguono i nostri ghiacciai e il nostro terreno glaciale, dai ghiacciai antichi e moderni, e dal terreno glaciale di altri paesi. La specialità orografica delle valli alpine, sull'uno e sull'altro versante, consiste in questo che tutte sono approssimativamente architettate sullo stesso modello, formando ciascuna quello che si direbbe un recipiente delle nevi e delle pioggie, composto di due parti. 1.° A monte un *recipiente*, in forma di *bacino*, o di *circo* semplice o composto, a foggia quasi d'imbuto o di sistema d'imbuti, destinato a ricevere le acque, e principalmente a ricevere e immagazzinare le nevi, che discendono in tanta copia e in tutte le stagioni nella zona più elevata delle Alpi: 2.° A valle un lungo canale di scolo, che è propriamente la valle, in forma di gola lunga e stretta, destinata a ricevere tributo dai molti confluenti che si diramano in seno al bacino recipiente, e a scaricare le acque sui confini della pianura.

Il bacino recipiente è quello dove un giorno si fusero in uno i ghiacciai, che

attualmente vi si trovano isolati in forma di piccoli ghiacciai o di povere vedrette. Il canale di scarico, spoglio attualmente di nevi perpetue e di ghiacci, era allora la via per cui l'antico ghiacciajo, formato della confluenza di cento ghiacciai, si versava, al di fuori delle Alpi, nel mare o sulla pianura. Prima di accingerci allo studio d'un fenomeno così imponente, vogliamo studiare partitamente i singoli sistemi di recipienti e di canali, e principalmente vedere quali siano le reliquie degli antichi ghiacciai, cioè, ghiacciai attuali, in ciascun recipiente; dovendo questo renderci assai facile il riconoscere il sistema generale degli antichi ghiacciai alpini, e i singoli sistemi in cui era desso suddiviso, come lo è quello dei ghiacciai attuali. Divido dunque i ghiacciai attuali, e dividerò in seguito gli antichi, in altrettanti sistemi, quante sono le valli che raccolgono ora le acque, e raccolsero un giorno i ghiacciai confluenti in un bacino recipiente, sboccando direttamente nella pianura al piede delle Alpi o in mare. Mi sembra questo il miglior metodo, poichè la distinzione dei ghiacciai per bacini recipienti è in preciso rapporto colla distribuzione idrografica attuale, la quale corrisponde alla sua volta perfettamente alla distribuzione degli antichi ghiacciai, da cui dipendono tutti i fenomeni che formano il soggetto di questo libro.

Distinguo i *sistemi glaciali* in *primarî* e *secondarî*. Chiamo *primarî* quei sistemi che appartengono a un bacino recipiente che dipende immediatamente dalle Alpi, il cui labbro cioè è costituito in parte immediatamente dalle supreme creste delle Alpi, donde partono le acque per giungere direttamente alla pianura. I *sistemi secondarî* sono quelli invece che appartengono ad un recipiente, sempre più limitato, dipendente dai contrafforti delle Alpi o delle Prealpi, anch'essi però con una valle di scarico immediato nella pianura. Questa distinzione sarà mantenuta anche pei sistemi glaciali antichi, ai quali anzi più propriamente apparterrebbe il nome di *sistemi glaciali* nel nostro senso.

I sistemi primarî sono nove, cioè, contandoli da ovest a est;

1. Sistema glaciale della Dora Riparia:
2. " " della Dora Baltea:
3. " " del Ticino o del lago Maggiore:
4. " " dell'Adda o del lago di Como:
5. " " dell'Oglio o del lago d'Iseo:
6. " " della Sarca o del lago di Garda:
7. " " dell'Adige:
8. " " della Piave:
9. " " del Tagliamento.

I sistemi glaciali secondarî sono moltissimi, ma la maggior parte di essi non può tollerarsi sotto questo nome, se non in vista degli antichi ghiacciai, che riempivano quei secondarî recipienti, formando dei piccoli sistemi glaciali affatto indipendenti dai grandi sistemi alpini. Attualmente la maggior parte di quei sistemi non sarebbe che nominale, non essendovi nemmeno una vedretta che li rappresenti. Citeremo più tardi soltanto i più considerevoli. Ecco intanto la descrizione sommaria dei diversi sistemi primarî.

I. Sistema della Dora Riparia. — La Dora Riparia nasce dalla confluenza di due piccole valli, il *Vallon de Thures* a nord-ovest, e il *Vallon de Sauze de Césanne* a sud-ovest, considerato come ramo principale. In fondo alla prima valletta torreggia il *Grand Glaiga,* alto 3286^{m} sul livello del mare. Il ramo principale invece discende dal *Pic de Rasin,* alto 3061^{m}. Fra le due vallette si eleva un contrafforte, che s'inoltra fra esse per 12 chilometri, staccandosi dal *Pic de la Ramière,* punto culminante della giogaja principale, elevato fino a 3310^{m} sul livello del mare. Questo picco, e più in giù verso la fine del contrafforte il *Bec de Balmas,* sono i soli che posseggono ghiacciai, ridotti alle proporzioni di semplici vedrette. Negli altri monti in fondo alla Dora non trovansi che certe tasche di neve nelle insenature, che non sempre resistono alla state. Discendendo invece verso la metà della valle, s'incontrano dei ghiacciai molto maggiori, benchè assai modesti anch'essi, quando si tratti di confrontarli coi grandi ghiacciai alpini. Sono

i ghiacciai della Galambra, e quelli della Rocca d'Ambino tra il Fréjus e il Cenisio, che versano tutti alla sinistra della Dora. Possiamo dunque dividere questo sistema glaciale in tre gruppi.

1. *Gruppo del Pic de la Ramiére.* — Comprende le vedrette di esso picco e del *Bec de Balmas,* cioè le vedrette del contrafforte che divide le due sorgenti della Dora.

2. *Gruppo della Galambra.* — Comprende i piccoli ghiacciai *Des Fourneaux* e *Du Vallonet,* presso le cime dello stesso nome, che versano nel *Vallon de Rochemolle,* ramo della valle di Bardonecchia, che si congiunge a Oulx colla valle principale. Comprende in secondo luogo il ghiacciajo abbastanza esteso di Galambra, che va fin sulla vetta della Punta di Galambra, cioè fino a un'elevazione di 3334^{m} sul livello del mare. Comprende in terzo luogo il ghiacciajo di Rudelaniera, presso la cima di questo nome, elevata fino a 3251^{m}. I due ghiacciai di Galambra e di Rudelaniera versano nella valletta di Galambra, che confluisce nella Dora a Exilles.

3. *Gruppo della Rocca d'Ambino.* — Comprende tre piccolissimi ghiacciai, dipendenti dalla Rocca d'Ambino e versanti nella valletta della Clarea; più il ghiacciajo che sta sulla cima di Barde, all'altezza di 3302^{m}, e versa nella valletta della Cenischia. Le due vallette citate sboccano a Susa.

II. Sistema della Dora Baltea. — Il bacino recipiente della Dora Baltea è uno dei più capaci che vantino le Alpi Italiane, e il suo labbro è all'ingiro quasi tutto coperto di ghiacciai, fra i quali si numerano i più poderosi, che vantino i versanti italiani. Girando da est a ovest, quindi da sud a nord e finalmente da ovest a est s'incontrano i seguenti ghiacciai o gruppi di ghiacciai.

1. *Gruppo del Gran Paradiso,* che vanta una ventina di ghiacciai o vedrette, il massimo dei quali è quello del Piano della tribolazione. Staccati da questo gruppo verso nord vedonsi il ghiacciajo di Trajo ed i piccoli ghiacciai dipendenti dal M. Emilio.

2. *Gruppo de' ghiacciai di Rhêmes.* — Comprende i ghiacciai di Rhêmes e quelli di Vaudet e di Fos.

3. *Gruppo del Ruitor.* Comprende il gran ghiacciajo del Ruitor, e più a nord-ovest quelli dipendenti dalla Punta di Lechaut.

4. *Gruppo del M. Bianco.* — I nominati ghiacciai si tengono sulla destra della Dora Baltea. In fondo alla valle, cioè in testa ad essa, si svolge, versandosi dai pendii orientali del M. Bianco, verso le due confluenti dell'Allée Blanche e di Val Ferrex, il gruppo più imponente dei ghiacciai italiani, dal quale si spiccano, scendendo fin quasi ai due torrenti, i grandi ghiacciai di Miage, della Brenvald, di Triolet, e del M. Dolente, oltre una ventina di ghiacciai minori e di vaste vedrette.

5. *Gruppo del Zardesan.* — Sulla sinistra della Dora troviamo il ghiacciajo del Bec de Foubert, quindi altri minori fino al gran ghiacciajo di Zardesan, con altri che si allineano verso sud-ovest, fra le due valli che sboccano l'una ad Aosta, l'altra a Chatillon.

6. *Gruppo di Val Tournanche.* — Viene ultimo a est il gran gruppo dei ghiacciai di Val Tournanche, di Aventina, di Ayoz, di Verra, di Felik e di Sys.

Se tutti questi ghiacciai si riunissero per occupare il letto della Dora fino ad Ivrea, come vedremo essere già avvenuto una volta, avremmo un ghiacciajo, che misurerebbe una superfice di oltre 2000 miglia quadrate.

III. Sistema del Ticino o del lago Maggiore. — Il sistema glaciale del Ticino è assai complicato, occupando un gran circo irregolare, composto di più circhi grandiosi, cioè di più grandi valli, confluenti pel Ticino al lago Maggiore. Numerando queste valli da ovest a est, come si presentano quasi raggi di un gran semicerchio che gira da sud a nord, quindi da nord a est, finalmente da nord a sud, abbiamo 1. la valle Anzasca, 2. la valle dell'Ossola prolungata colla valle Antigorio, 3. la val Maggia, 4. la valle del Ticino, colle tre confluenti valle Leventina, valle di Blegno e valle Misocco.

In questo vasto bacino che, misurato fino al suo sbocco all'estremità meridionale del lago Maggiore, vanta un'estensione di circa 3000 miglia quadrate, sono

scarsi i veri ghiacciai, ma infinite le vedrette. Il sistema glaciale si compone dei seguenti gruppi.

1. *Gruppo dei ghiacciai del M. Rosa,* che ha per suo principale rappresentante il grande ghiacciajo di Macugnaga. Si compone del resto di molte vedrette, all'ingiro del parziale recipiente che versa nella valle Anzasca.

2. *Gruppo del Sempione,* composto di alcuni ghiacciai e di molte vedrette, che coronano l'irta giogaja, la quale, dirigendosi da sud-ovest a nord-est, divide il Vallese dalla valle dell'Ossola.

3. *Gruppo del ghiacciajo Laquin,* a cui si uniscono i ghiacciai di Grosboden e delle Alpien.

4. *Gruppo delle vedrette del M. Giovio,* tra le quali si distinguono quelle di Fiorina e di Basoline, che discendono verso la valle Antigorio.

5. *Gruppo dell'alta val Maggia,* composto di parecchie vedrette.

6. *Gruppo del S. Gottardo* sulla sinistra della valle Leventina.

7. *Gruppo del Pizzo Campo Tenca* sulla destra della stessa valle.

8. *Gruppo del Lukmanier,* composto di un numero infinito di vedrette, che versano nelle valli di Blegno e di Misocco, formando poscia una catena fra le due valli, che si spinge fin verso le alture a nord di Bellinzona.

IV. Sistema glaciale dell'Adda ossia del lago di Como. — Questo sistema è assai vasto e complicatissimo. Il bacino recipiente si divide fondamentalmente in due grandi bacini o circhi elittici, l'uno meno lungo, che dall'estremità settentrionale del lago di Como, ossia dal lago di Mezzola, si spinge direttamente a nord verso la sommità dello Spluga; l'altro assai più allungato, costituente la Valtellina, che s'inoltra direttamente verso est, piegandosi in seguito verso nord, finchè attinge a nord-est il passo dello Stelvio. Questi due grandi recipienti, in cui si divide il recipiente glaciale dell'Adda, si suddivide alla sua volta in molti recipienti parziali. Il recipiente a nord, cioè quello della valle del Liro, ha per massimo confluente la Mera, ossia la valle Bregaglia, la quale si spinge fino alla Maloggia, che la divide dall'Engadina superiore, in mezzo a molti confluenti nudriti dalle nevi perpetue. Il recipiente ad est, cioè la valle dell'Adda o Valtellina, numera anch'essa molti recipienti parziali, cioè molti confluenti d'importanza. Sulla destra, p. es. la valle del Masino, quella del Mallero colla valle di Togno, la valle Fontana, l'enorme valle di Poschiavo, la valle Grosina, finalmente la val Viola. Sulla sinistra notiamo principalmente la valle di Braulio, che discende dallo Stelvio, e quella del Frodolfo, nudrita da uno dei più grandi gruppi glaciali delle Alpi italiane. Più basso molte altre valli glaciali, come la valle di Belviso, la valle Arigna, e finalmente la valle del Bitto, nudrita dalle nevi quasi eterne del Pizzo dei tre Signori.

I ghiacciai, sparsi entro i diversi circhi che compongono il gran recipiente, sono infiniti, principalmente sotto forma di vedrette. Distinguendoli in gruppi, secondo il metodo addottato di numerarli da ovest a est, li nominiamo come segue:

1. *Gruppo delle vedrette dello Spluga,* composto di alcune vedrette piuttosto riguardevoli, discendenti dal Pizzo Tambo e dal Pizzo Soreta. Versano nella valle del Liro.

2. *Gruppo del Monte della Dogana,* composto di vaste vedrette, che versano nella valle Bregaglia a destra.

3. *Gruppo del Monte Muret,* composto di vedrette, che unite, a quelle del Pizzo Torrone e della Cima Ligoncio, fluiscono sulla sinistra della valle Bregaglia.

4. *Gruppo del Monte Droso,* composto di due grandi vedrette, l'una del Monte Droso, l'altra della Cima del Vallon, che versano nel senso suddetto.

5. *Gruppo del Masino,* che comprende le molte vedrette le quali discendono verso la valle del Masino dalla Cima Ligoncio, dal Picco Zocca, dal Pizzo Torrone, dal M. Pioda, dal M. Girosso e dal M. Arcanzo.

6. *Gruppo del Mallero,* uno dei più importanti. Si compone dapprima delle enormi vedrette del M. della Disgrazia e dei versanti orientali dei M. Pioda, Sissone,

Piate e Muret. Vengono in seguito verso est le vedrette del M. Sasso d'Entova e le immense vedrette di Scerseen, di Fellaria e dei M. Sasso Moro, Musella e Rosso. Chiudono il giro a sud-est le vedrette del Pizzo Fontana, e quelle del Pizzo Scalina, che versano al Mallero, cioè alla val Malenco per il monte di Togno. La *Tavola* III, fig. 1 rappresenta il ghiacciajo della Forbicetta, appartenente al gruppo delle vedrette del Monte della Disgrazia, di cui il signor Oberto Dell'Orto mi communicò gentilmente il disegno, da lui preso sul posto.

7. *Gruppo della valle di Poschiavo.* — Si compone anch'esso di un gran numero di ghiacciai disposti a corona intorno al gran circo, in cui termina la valle di Poschiavo sotto il M. Bernina. Abbiamo ad ovest le vedrette allineate dal M. Costa di Sagoreta fino al passo di Bernina: ad est le vedrette del Pizzo di Campo.

8. *Gruppo della valle Grosina.* — L'alta valle Grosina è un vero modello di circo glaciale. Stretta presso il suo confluente nell'Adda tra il Motto Arlato e il M. Storile, si allarga in forma di bacino ellittico a monte, tutto guernito all'ingiro di vedrette. A sud le vedrette dipendenti dal Dosso Sassumero; a nord le grandi vedrette del Sasso Campana, della Cima di lago Spalmo, e del Sasso Calosso; ad est quelle del M. de' Piazzi.

9. *Gruppo della valle Viola.* — La valle Viola, spingendosi ad ovest dal suo confluente nell'Adda, si allarga anch'essa in bacino, che si sviluppa a nord del circo di valle Grosina, dando scolo alle vedrette di Dosdè, di val Viola, del Corno di Dosdè, del Monte delle Mine, del M. Zattaron e del M. Corrara.

10. *Gruppo della valle di Braulio.* — Il circo della valle di Braulio, che si dilata verso il giogo dello Stelvio, è relativamente piccolo, ma nudrito per compenso dalle enormi vedrette dipendenti dal M. Cristallo, e dalla giogaja che lo separa dalla valle del Zebrù. La *Tavola* III, fig. 2 rappresenta appunto le vedrette del M. Cristallo. Anche questo disegno fu preso sul luogo dal sig. Oberto Dell' Orto che me ne fece gentilissimo dono.

11. *Gruppo della valle del Zebrù.* — Questa valle disegna quasi una conca ellittica, il cui labbro è per metà verso est incrostato dalle grandi vedrette del Zebrù, del monte del Forno e del M. Confinale.

12. *Gruppo del Frodolfo.* — Questo grosso confluente dell' Adda, che percorre la Val-Furva, riceve alimento da uno dei gruppi più importanti di ghiacciai che vantino le Alpi dalla parte d'Italia. A nord le vedrette sui versanti meridionali del M. Confinale e del monte del Forno; girando da est a sud la gran cerchia delle vedretta di Cedeh e del M. Pasquale; poi le immense vedrette del Forno col grande ghiacciajo di questo nome; quindi le vedrette di Chiarena, del Pizzo Tressero, del Corno dei Tre Signori e del M. Gavia. Chiudono il giro da sud a nord-ovest le vedrette del M. Sobretta e quelle dei M. Sasso Alto, Malò e Gobbetta, che versano direttamente nell'Adda. La *Tavola* IV presenta un disegno del ghiacciajo del Forno preso dal vero dal professore Carlo Allegri di Venezia, che volle gentilmente donarmelo.

13. *Gruppo meridionale dell'Adda.* — Numeriamo in questo gruppo tutte le vedrette allineate sulla sinistra della Valtellina, fra la valle di Rezzo, che sbocca presso Sondalo, e la valle Rigna, col suo confluente in faccia a Chiuro. Le principali vedrette, che si succedono da nord-est, sono quelle del M. Serottini, del Cagamei e del Passo di Cocca.

V. Sistema dell'Oglio o del lago d'Iseo. — La valle dell'Oglio, o val Camonica, tiene, direbbesi, il mezzo fra le valli alpine e le prealpine. In fatti essa raccoglie a destra gli scoli delle montagne che formano la sponda sinistra della Valtellina, ed è quindi da questa parte separata totalmente dalle Alpi, svolgendosi tutta entro la zona delle Prealpi. Ma le Alpi stesse vengono a cercarla sulla sinistra, mediante il grande sperone alpino, che si stacca direttamente da nord a sud dalla cerchia delle Alpi, spingendosi dal Corno dei Tre Signori fino al gruppo eminentemente alpino del M. Adamello, poi fino al M. del Castello. Da questo lato dunque la val Camonica è una valle tutta alpina, e ne ha tutte le condizioni, anche per riguardo a' suoi ghiacciai antichi e moderni. È sopratutto sul lato alpino, cioè

sulla sinistra della val Camonica, che si mostrano, sotto forma di vedrette, i residu di uno dei più grandi ghiacciai, che siano un giorno discesi dalle cime delle Alp fino ai confini settentrionali della pianura dell'alta Italia, dove troveremo appunt uno dei più interessanti fra gli antichi anfiteatri morenici. Le vedrette della va Camonica possono dividersi nei seguenti gruppi.

1. *Gruppo del Corno dei Tre Signori.* — Comprende le vedrette che versan per val Tozzo nell'Oglio a Ponte di Legno.

2. *Gruppo del M. Adamello.* — Comprende le grandi vedrette che versano da circo a nord del M. Adamello per diverse valli nell'Oglio sotto Ponte di Legno.

3. *Gruppo del Corno di Vaitone.* — Comprende le vedrette che versano nell'Oglio tra Edolo e Malonno per la valle di Malga e valle Rabbia.

4. *Gruppo della valle di Saviore.* — Questa raccoglie le acque versate dalle vedrette del Corno di Millero e da quelle di Saviore e del M. Tredenos.

VI. Sistema della Sarca o del lago di Garda. — Questo sistema, che vedremo divenire così vasto e potente per l'addizione, cioè per la confluenza di altri due (il sistema secondario del Chiese e il sistema primario dell'Adige), è al presente molto ristretto. La Sarca, che prende il nome di Mincio a valle del lago di Garda, non riceve che un piccolo numero di valli, o piuttosto di vallette secondarie. La valle di Rendena, la maggiore di esse, trae però le sue sorgenti da un gruppo d'importanti vedrette sulla destra, e da un altro piccolo gruppo sulla sinistra. Noi ne facciamo uno solo sotto il nome di

Gruppo della valle di Rendena. — Comprende le vedrette sui versanti orientali del M. Adamello, che si continuano con quelle dei versanti meridionali del M. Piscanno e del M. Rocchetta. Comprende poi sulla sinistra della valle le vedrette di Bocca di Brenta.

VII. Sistema dell'Adige. — Questo sistema è attualmente uno dei più vasti, mentre il bacino recipiente dell'Adige si inoltra e si dilata entro la gran massa delle Alpi, versando le sue acque per un buon numero di grandi valli, che traggono le loro sorgenti dalle nevi e dai ghiacci eterni. Distinguiamo i seguenti gruppi, girando come al solito da ovest a est, cioè dalla destra alla sinistra della gran valle dell'Adige.

1. *Gruppo della val di Sole.* — Questa valle è la principale generatrice del torrente Noss, che sbocca nell'Adige a nord di Lavis, e riceve tributo dalle vedrette dei versanti settentrionali del M. Piscanno, e da quelle dei versanti meridionali ed orientali del Pizzo Tresséro, del Pizzo Rocca Marcia e del Pizzo Venezia.

2. *Gruppo meridionale dell'alta valle dell'Adige,* composto delle grandi vedrette che versano sulla destra dell'Adige fra Merano e Glurns, delle grandi vedrette dei Pizzi Flatsch, Soyputz, Venezia, Zufall, Peder e Ortler. La figura 16 rappresenta un profilo dell'Ortler-Spitz, preso dal vero dal sig. Oberto Dell'Orto.

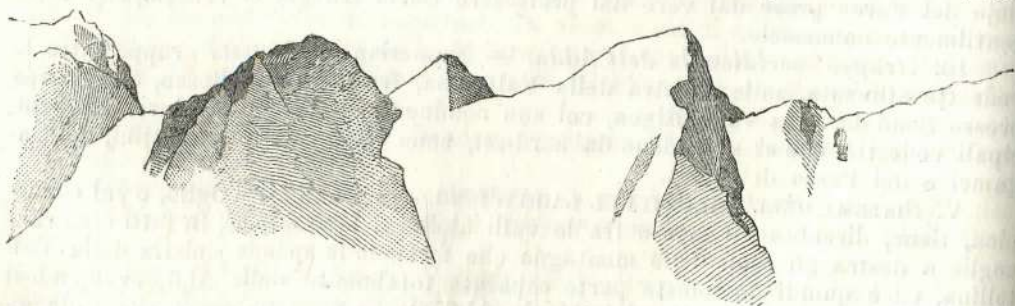



Fig. 16. — Profilo dell'Ortler-Spitz.

3. *Gruppo settentrionale dell'alto Adige.* — Comprende i ghiacciai e le vedrette che si trovano sui versanti meridionali del grande sistema glaciale della Valle dell'Oetz e delle Alpi di Salisburgo, versanti nell'Inn. Abbiamo tuttavia

anche sui versanti italiani delle grandi vedrette, come il ghiacciajo di Salurn, e le vedrette del Pizzo Similaun, del Pizzo Texl, ecc., che versano nell'Adige per la val Venosta e la valle di Eiseck.

4. *Gruppo della valle di Fleims*, rappresentato ora unicamente dalla grande vedretta della Marmolada, sul versante occidentale del M. Serranda.

VIII. Sistema della Piave. — Questo sistema può dirsi attualmente affatto nominale. Benchè la Piave abbia un recipiente vastissimo, che si dilata nel seno delle Alpi, questo è quasi assolutamente libero da nevi perpetue. Abbastanza considerevole è poi la vedretta della Marmolada che occupa un vasto circo verso la sommità di questo colosso delle *Alpi dolomitiche* (3474 m.), con altre piccole vedrette,che discendono sui versanti orientali del M. Serranda o Serranta e versano nel Cordevole, principale confluente della Piave. La vedretta della Marmolada è rappresentata dalla *Tavola* V, eseguita sopra un disegno preso del vero e donatomi dal professore Carlo Allegri. A sinistra si osserva il M. Serranda e a destra, dietro il Sasso di Mezzodì, la piattaforma nevosa, che forma la parte più elevata della Marmolada. Un'altra vedretta abbastanza vasta è quella discendente dal M. Croda Malcora, che versa nel Boite, altro confluente della Piave. Possiamo dunque fissare due gruppi, potenti una volta, ma ora allo stato embrionale.

1. *Gruppo del Cordevole.*
2. *Gruppo del Boite.*

IX. Sistema del Tagliamento. — Anche questo sistema può dirsi nominale, anzi lo è affatto. Noi lo riteniamo però ugualmente, in vista dell'epoca glaciale, durante la quale vedremo questo sistema occupare un posto di primo ordine.

Numerati i sistemi glaciali primarî, dovremmo passare in rassegna i secondarî; ma questi sono moltissimi, e per la massima parte nominali, come quelli che discendono dalle Prealpi o dai contrafforti delle Alpi, i quali attingono di rado i limiti delle nevi perpetue. Questi sistemi tuttavia cessano di essere nominali, e acquistano talora un'importanza discreta, considerati nell'epoca glaciale. Numereremo perciò alcuni dei più importanti, nell'ordine in cui ci si presentano anch'essi da ovest a est.

1. Sistema della Stura a sud-ovest di Cuneo.
2. " della val Maira.
3. " del Po o del M. Viso.
4. " del Pellice.
5. " della Stura a nord-ovest di Torino.
6. " della val Sesia.
7. " della val Brembana.
8. " della val Seriana, il quale è ancora rappresentato da un piccolo numero di vedrette, principalmente da quella abbastanza considerevole dipendente dal M. Gleno, che versa in val Bondione sopra la cascata del Serio.
9. Sistema del Chiese. — Anche questo sistema è rappresentato da alcune vedrette dipendenti dalle propagini più meridionali del M. Adamello, che versano nella val di Fumo, dove il Chiese ha le sue sorgenti.
10. Sistema dell'Agno.
11. " dell'Astico.
12. " del Bacchiglione.
13. " del Brenta.
14. " dello Zelline.
15. " dell'Isonzo.

Tutti i *sistemi glaciali*, o primarî, o secondarî, o reali o nominali che siano, rappresentano quel grande apparato di bacini o di canali, che diè forma a quei reali ghiacciai, gruppi o sistemi di ghiacciai, dal cui complesso risultò nell'êra neozoica il grande *sistema glaciale* dell'alta Italia, di cui passiamo a dimostrare la realtà ed a descrivere i particolari.

IV.

IL PAESAGGIO MORENICO
OSSIA DEGLI INDIZI GENERALI DEL'ANTICO SVILUPPO DE' GHIACCIAI ALPINI NELL'ALTA ITALIA

Il nome di *paesaggio morenico* fu recentemente introdotto nella lingua geologica dal prof. Desor. È bene adattato per esprimere quel complesso di caratteri esterni, che distinguono una regione percorsa ed occupata già dai ghiacciai da un'altra regione qualunque, avendole impressa una fisonomia così speciale, per cui essa si afferma immediatamente da sè, antecedentemente a qualunque indagine geologica che fosse ordinata a verificare positivamente quei fenomeni di cui fu un giorno teatro. Chi volesse cercare un tipo, anzi l'archetipo del paesaggio morenico, io credo che, passate in rassegna tutte le mille regioni che lo presentano, finirebbe col fissarsi sull'Italia subalpina. Tutte le bellezze del nostro paese, le bellezze dei nostri monti, dei nostri laghi, di cui lo straniero, dopo aver ammirato la cupa severità dei laghi della Scozia, le amenità del Reno, gl' incanti del Bosforo, i sorrisi dell'Arcipelago, gli splendori delle marine, gli ardimenti della Svizzera alpina e quanto offre natura di vario e di bello, viene a inebriarsi, e si arresta, per coprir d'oro un jugero di terra, e gittarvi le fondamenta di una villa o di un palagio dorato; tutte, dico, le bellezze del nostro paese, non sono che l'espressione archetipa del paesaggio morenico.

La vasta pianura delle basse regioni dell'Adriatico, levandosi insensibilmente a nord, si cambia in una regione di altipiani, ossia di pianure elevate le une sopra le altre nella doppia forma di gradini e di terrazzi. Il Po vi scorre da sovrano, ricevendo il tributo di mille affluenti. Quelle fiumane e quegli altipiani sono alluvionali, composti cioè di letti alternanti di argille, di sabbie, di ghiaje, di ciottoli rotolati. Le argille, al pari che i ciottoli, sono antichi depositi del Po e de' suoi affluenti, e quindi estranei a prima giunta al paesaggio morenico: ma son anche tritumi di rocce alpine. Come hanno potuto essere trasportati così lontano dalle loro cime antiche? chi rovesciolli sui confini settentrionali delle nostre pianure, cioè sui lidi dell'antico Adriatico, donde pigliarono le mosse per colmare l'antico golfo e creare la nuova terra ai piedi delle Alpi, che si va ancora avanzando e respinge il mare verso confini sempre più lontani? Noi vedremo come le pianure e gli altipiani alluvionali sono tutt'altro che stranieri agli antichi ghiacciai, costituendo la prima parte, quella che si direbbe delle vicinanze, del paesaggio morenico. Dalla regione degli altipiani terrazzati si passa quasi d'un tratto a quella vaga cerchia di colline morbide e verdeggianti, che stringono la pianura entro un

primo semicerchio, parallelo al semicerchio delle Alpi. È con esse che comincia veramente il paesaggio morenico. Anche quelle colline son composte di fanghi, di ghiaje, di ciottoli. Ma al minuto detrito si uniscono massi e rupi, staccati anch'essi da cime lontane. Quei massi, come son misti dovunque al minuto tritume, così torreggiano solitarî talora alla superfice, e sporgono gli acuti spigoli dai fianchi morbidi delle colline. Tutti gli elementi, il fango e le sabbie, come i ciottoli e le rupi, sono insieme confusi, e formano delle masse d'impasto caotico. Più in su verso le Alpi noi cominciamo ad accorgerci della fondamentale diversità che corre fra il terreno superficiale e quello che forma la base e l'ossatura delle nostre montagne. Anche il bambino rimarca una tale differenza, e si avvezza ben presto a distinguere il terreno sodo, quello che si dice propriamente la roccia, dal terreno mobile, incoerente, superficiale, che ricopre la roccia nelle regioni più depresse, che si arrampica in certa guisa sui fianchi delle montagne fino a una certa altezza, quasi un mantello di materie straniere, gettato a coprire la nudità della roccia nativa. In tutte le regioni del globo esiste, è vero, più o meno sviluppato, uno strato superficiale di terreno mobile, un terriccio, il quale, dov'è un po' fitto, può ridursi a coltura. La più volgare esperienza basta però a farci avvertiti che quel terriccio nasce immediatamente dalla decomposizione delle rocce, prodotta alla superfice dagli agenti meteorici. L'umidità, il gelo e disgelo, poi l'azione stessa della vegetazione, e quando vi si stabilisce, o quando muore, quando cioè le spoglie delle erbe e delle piante si convertono in *humus*, hanno insieme contribuito a formare quel terriccio, a cui tante e così vaste regioni devono quel tanto di fertilità, che impedisce che non siano affatto deserte. Ma qui il caso è ben diverso: il detrito superficiale delle regioni moreniche, quello dei nostri colli, delle nostre campagne subalpine, è affatto estraneo alla roccia, che, dagli umili colli che sorgono sui confini della pianura, fino alle vette nevose che confinano col cielo, costituisce fondamentalmente il rilievo delle montagne. Sui fianchi calcarei delle nostre Prealpi posa un detrito di graniti, di porfidi, di serpentini, di rocce insomma, che si trovano salde in posto cento miglia lontane. Poi quel terriccio ciottoloso forma sovente uno strato d'enorme grossezza, fabbrica da solo colli e catene di colli, colma seni e valli. La roccia salda si nasconde perciò spesso a enormi profondità, e dobbiamo per lo più, non all'opera dell'uomo, ma alla furia secolare degli alpini torrenti, se essa traspare dall'immane detrito che la ricopre. Ciò si vede in fatti chiaramente, oltrepassate appena le prime colline a' piè delle Alpi, dove cominciano a trasparire nel letto dei torrenti le salde rupi, che veggonsi emergere più in alto dal terreno mobile, e formare le vette di una seconda serie di colli più elevati. Dai colli minori si passa ai maggiori: le forme delle montagne si fanno sempre più ardite e spiccate; alle creste calcaree delle Prealpi succedono le cristalline delle Alpi; di valle in valle, di monte in monte, si giunge fino alle gole elevate, donde colano i ghiacciai, poi fino alle vette coperte di nevi perpetue, poi fino alle aguglie, che si slanciano al di sopra dei ghiacci e delle nevi. Ma il mobile terreno ci accompagna sempre: sempre fino all'altezza degli attuali ghiacciai. Esso corre sul fianco delle valli; si arrampica sulle montagne; s'insinua nei seni laterali. Voi lo trovate dovunque, dove in seno ai monti verdeggia una distesa di campi, o dove entro un ricinto di ignude rupi sorride un paesello. È questo contrasto fra l'ameno e l'orrido, fra il ferace e lo sterile, fra il ridente e il severo, fra il biondeggiare dei campi, il verdeggiare dei prati e dei boschi, o il nereggiare delle rupi, o il biancheggiare delle nevi lontane, è, dico, questo contrasto che forma il carattere più spiccato del paesaggio morenico; che forma il bello dell'Italia subalpina. A questo paesaggio di piani, di colli, e di monti, bisogna aggiungere i laghi; i grandi laghi lombardi, che si allungano ciascuno nel fondo di una valle, percorsa a monte per lungo tratto da un torrente ceruleo e bianco, che nel lago stesso viene a morire, per rinascere all'altra estremità, ripigliando il suo corso verso il mare lontano. Noi non abbiamo del resto a far altro che guardare dal piano verso le cime nevose delle Alpi, per ritrarne l'imagine più perfetta del paesaggio morenico: imagine del resto che è scolpita

nella nostra fantasia fin dall'infanzia. Quanto è diverso il paesaggio delle regioni che non furono occupate dagli antichi ghiacciai! Io ho cercato altra volta di far rilevare la quasi perfetta somiglianza che in linea geologica esiste per esempio, fra le Alpi, regione d'antichi ghiacciai per eccellenza, e il Libano, a cui essi rimasero quasi ignoti. Mi si permetta di citare quel passo.

« In fondo al mare Libico cerchereste invano una grande pianura. Vi hanno rudimenti di pianure, ma così meschine, che le sdegnerebbe come sue creature qualunque dei nostri fiumi alpini, il quale sia stato capace di fabbricarsi un delta lacustre, come quello del Rodano nel lago di Ginevra, o dell'Adda nel lago di Como. Parimenti invano cerchereste una serie di colline detritiche, paragonabili alle nostre, coperte di un mantello così unito di rigogliosa vegetazione. Non una sola delle colline della Fenicia o della Palestina, che vi richiami i colli della Brianza o della Franciacorta. Le ignude rupi traspajono dovunque sulle coste dagli strappi di quel mantello di adusta verdura, che ricopre i colli della Palestina e le falde del Libano. Precipizî vertiginosi fiancheggiano il mare dovunque, e le sue furie si sfogano immediatamente contro le dure basi del Libano, come farebbe l'Adriatico, quando si dilatasse fino alla base delle Alpi, ove precipitano i torrenti ancora intorbidati dal limo abbandonato dalle nevi e dal ghiaccio. Il Libano si leva immediatamente dal mare, e di là voi salite, quasi senza posa, fino alle cime del Dschebl-Samnin e del Dhor-el-Chadib, cioè fino a elevazioni di 8026 e di 9431 piedi sopra il livello del mare (1) ».

Così infatti si presentava l'Italia in fondo all'Adriatico antico, prima dell'epoca glaciale; prima che gli antichi ghiacciai, noti soltanto alle vette più elevate del Libano (2), la colorissero, dalle cime delle Alpi fino ai lidi del mare, colle tinte del *paesaggio morenico.* Questo paesaggio morenico noi vogliamo scomporlo nei suoi molteplici elementi, per vedere se ciascuno di essi trovisi davvero in corrispondenza coll'ipotesi, o diremo meglio col fatto, di un'*epoca glaciale,* di un periodo cioè in cui i ghiacci, confinati in oggi sulle maggiori alture, entro i più ermi alpini recessi, erano discesi fino ai confini dell'attuale pianura occupata allora dal mare.

Volgendo dalla nostra pianura verso le Alpi, il primo indizio sicuro degli antichi ghiacciai che ci si debbe fare innanzi (prescindendo dalle alluvioni fluvio-glaciali, e da altri fenomeni di cui meglio ci occuperemo più tardi), consisterà nelle morene frontali, cioè negli anfiteatri morenici, che i ghiacciai dovettero costruire sulla loro fronte nel periodo di sosta, quando avevano il massimo d'avanzamento a valle, e nei successivi periodi di regresso e di sosta, a cui andarono per avventura soggetti nella loro ritirata verso gli attuali confini degli alpini ghiacciai. Gli anfiteatri morenici non mancano; anzi costituiscono il tratto più caratteristico del paesaggio subalpino, formando, quella multipla catena di colline così ridenti. così feraci, distribuite sopra una larga zona, distesa precisamente fra il limite settentrionale della pianura e le falde delle Alpi e delle Prealpi. Quella zona di colline, composte di mobile terreno, formate cioè coi ruderi delle montagne più vicine, come delle Alpi più lontane, è a volta a volta interrotta. Anzi essa si scompone in tanti gruppi, quante sono a un di presso le valli principali, che dalla pianura ci conducono fino alle vette supreme delle Alpi. Ciascun gruppo corrisponde precisamente allo sbocco di una di quelle grandi valli. Le colline poi di ciascun gruppo si riuniscono fra loro per formare un semicerchio o un sistema di semicerchî, cioè per descrivere appunto un anfiteatro, un circo, o semplice o composto, aperto verso la valle, e chiuso verso la pianura, salvo quello spazio più o meno largo, per cui il fiume alpino, rompendo quella cerchia, che lo costringerebbe altrimenti a rifluire verso le Alpi, si getta nella libera pianura, per raggiungere il mare immediatamente, come fanno l'Adige e il Tagliamento, o mediatamente, confluendo nel Po, come fanno l'Adda, il Ticino e le due

(1) *Parallelo fra i due sistemi delle Alpi e del Libano,* nella *Nuova Antologia,* Maggio 1875.
(2) Ivi.

dore. La descrizione degli anfiteatri morenici darà ricca materia al capitolo seguente, destinato allo studio speciale dei singoli sistemi glaciali dipendenti dalle Alpi. In questo che tratta degl'indizî generali dell'antico sviluppo de' nostri ghiacciai alpini, basterà qualche esempio che ajuti il lettore a ben comprendere che cosa sia un antico anfiteatro morenico, poi che cosa sieno tutti quei fenomeni, che noi consideriamo ora soltanto nella loro generalità, come quelli che danno all'Alta Italia la impronta più perfetta d'un' antica regione glaciale.

Come modello di morena frontale, o d'anfiteatro morenico, citeremo la così detta Franciacorta, cioè quella cerchia meravigliosa di ubertose colline, che si ripiega verso il sud fra il Montorfano bresciano e il lago d'Iseo, appoggiandosi con un'estremità alla valle d'Adro, coll'altra alle montagne che sorgono a ridosso d'Iseo. Osservando la *Carta del sistema glaciale del lago d'Iseo* (*Tavola* II) posta in fine al presente volume, il lettore potrà farsi un' idea precisa dell' andamento di uno dei principali fra i nostri antichi ghiacciai, di quello cioè che corrisponde al nostro *V sistema* (1), ossia al sistema dell'Oglio o del lago d'Iseo. I ghiacciai, da noi divisi in quattro gruppi, sviluppandosi allora enormemente, dovettero confluire nella valle Camonica, formando un solo grande ghiacciajo, che incamminossi giù per la valle, e gittossi nel vasto bacino, occupato ora dal lago d'Iseo, cui dovette colmare, per spingere in seguito la sua fronte fuori delle alpine strettoje, nella libera pianura, fors'anco nell'aperto mare. Ma, così facendo, esso veniva a dare di cozzo contro il colle d'Adro, che lo obbligava a scindersi in due rami, cioè in un ramo a sud-ovest, che trovava libera uscita per la valle ora occupata dall'Oglio suo succedaneo, e in un ramo sud-est, che poteva ugualmente inoltrarsi libero per la valle che si dilata fra il colle d'Adro e le montagne che, formate le sponde orientali del lago, si fermano ad Iseo. Prendendo di mira questo solo ramo sud-est, desso, uscito dalla valle, trovossi libero sull' istante di disegnare la sua fronte, come massa fluente, in forma di semicerchio, e di dare la stessa forma alla morena frontale che esso avrebbe edificato in un periodo di sosta. Cosí avvenne, e lo mostra per l'appunto la *Carta del sistema glaciale del lago d'Iseo*. Le colline della Franciacorta non sono altro infatti che la grande morena frontale, prima edificata, poi abbandonata dal ramo sud-est del ghiacciajo dell' Oglio, quando il ghiacciaio stesso si ritirò.

Dal colle d'Adro, che vedesi ad ovest, parte detta morena, formando una serie di colline, o piuttosto una sola collina, che, ripiegandosi ad arco da sud a est, viene ad appoggiarsi al monte d'Iseo, cingendo una depressione, ossia un piano in forma d'arena, già occupato dal ghiacciajo che sporgeva la sua fronte di mezzo alle due montagne, dove vedesi il lago d' Iseo in distanza. Altre morene, assai meno rilevate, descrivono dei circoli minori entro il circo principale, segnando diversi minori periodi di regresso e di sosta dell'antico ghiacciajo. La grande morena e le interne più piccole non erano in origine che colline semicircolari d'un sol pezzo. Le acque pluviali e i torrentelli le hanno in seguito erose e sezionate in molte parti, sicchè appajono in oggi formate ciascuna come di molte colline distinte, formanti altrettante serie lineari, semicircolari, quante erano in origine le morene frontali.

Daremo del resto un disegno di questo anfiteatro, come degli altri anfiteatri morenici principali, nel capitolo seguente, destinato principalmente a descriverli partitamente, come daremo a suo tempo la ragione perchè manchi, o sembri mancare, l'anfiteatro morenico corrispondente al ramo occidentale del ghiacciajo dell'Oglio.

Rompendo la cerchia dell'anfiteatro morenico, qualunque sia lo sbocco di valle per cui preferiamo salire verso le nevi perpetue dell'Alpi, dobbiamo trovarci presi fra le morene laterali, che, prolungando verso monte l'una e l'altra estremità dell'arco morenico frontale, devono rispondere, sui fianchi della valle, ai lati del ghiacciajo che la riempiva. Le morene laterali, formanti uno o più cordoni di de-

(1) V. sopra a pag. 38.

trito glaciale sui fianchi delle valli percorse dagli antichi ghiacciai, non sono però così facili a scoprirsi come gli anfiteatri morenici: anzi le morene laterali nemmeno esistono sopra la maggior parte della lunghezza misurata dai lati delle nostre valli alpine. Ciò dipende unicamente dalla forma delle stesse valli. Perchè si formino le morene laterali, o piuttosto perchè rimangano quando il ghiacciajo è scomparso, è necessario che i fianchi delle valli presentino un pendìo abbastanza morbido, tale che vi si possa reggere un cumulo di detrito. In difetto di questa condizione, il detrito delle morene frontali si doveva precipitare dai fianchi della montagna appena il ghiacciajo si fosse abbassato o ritirato. Quando pure i fianchi della valle presentino un' inclinazione bastevole perchè la morena avesse potuto arrestarvisi, se essa inclinazione è appena risentita, le acque pluviali avranno potuto troppo facilmente smuovere il detrito morenico, portandolo al basso sul fondo della valle. Le nostre valli alpine sono appunto caratterizzate dalla ripidezza dei fianchi. Le nostre grandi valli, perpendicolari all'asse delle Alpi, quelle precisamente per cui si sfogarono gli antichi ghiacciai, sono *valli di chiusa*: non sono altro cioè che grandi spaccature, le quali, dai limiti settentrionali della pianura, ascendono fino a quelli delle nevi perpetue. Il lettore non ha che a richiamarsi quella qualunque delle nostre grandi valli da lui stesso percorse, per ricordarsi come esse siano per lunghi tratti chiuse fra pareti verticali di rupi, abbiano cioè la forma di gole scavate a picco profondamente entro il rilievo roccioso delle Alpi e delle Prealpi. Come può egli pretendersi che si arrestassero le morene laterali sulle nude montagne a picco, che fiancheggiano per esempio il lago d'Iseo fra Iseo e Lovere, o il lago di Como fra Lecco e Varenna, o il lago di Garda fra Salò e Riva di Trento? Tuttavia, se le condizioni erano contrarie alla formazione o alla permanenza delle morene laterali nella loro integrità, nol saranno state però in modo così assoluto, che non abbiano potuto arrestarvisi e non vi rimangano ancora delle porzioni, dei ruderi più o meno considerevoli di quelle morene stesse per la parte maggiore o non formate, o distrutte. Appena infatti il pendìo laterale delle valli acquisti una certa morbidezza, si presentano invariabilmente porzioni di morene laterali, rappresentate da cumuli di mobile detrito, rovesciati sui fianchi delle montagne, coperti di rigogliosa vegetazione, sparsi di case e di villaggi. Questi ruderi delle antiche morene laterali sono tanti anche sui fianchi delle valli alpine più erte e selvaggie, che non torna difficile di ricomporre colla fantasia tutto l'apparato morenico, come se il ghiacciajo ancora esistesse. Questi ruderi di antiche morene, vasti e numerosissimi talvolta, sono quelli che imprimono alle valli alpine quella fisonomia che le distingue dalle altre valli di chiusa, le quali scindono altre catene di monti, rimaste straniere agli antichi ghiacciai. È ancora il paesaggio morenico che rende così vaghe, così deliziose le nostre vallate: è ancora quel contrasto fra la nudità delle rupi e il ricco ammanto dei seni e dei colli, fra il bianco, il giallo, il bruno o il nero dei calcari, dei serpentini, dei graniti e il verde-chiaro dei prati, o il verde cupo dei boschi, che rendono così pittoresche le nostre valli. Questo contrasto è quello che regna fra i ripidi pendii spogli di laterali morene, e i pendii morbidi o i seni dove le morene laterali poterono formarsi ed arrestarsi. Ricordi principalmente il lettore quello che abbiamo detto circa la formazione delle morene insinuate (1). Esse non sono, come abbiam visto, che porzione di morene laterali, insinuatesi col ghiacciajo nei seni e nelle valli laterali, ingrossate straordinariamente per quello stagnamento del ghiacciajo entro i seni laterali, che abbiamo descritto. Ciascuno dei nostri antichi ghiacciai, partito dalle vette supreme delle Alpi, dovette incrociarne assai di seni e di valli laterali, e deporre in ciascun seno, in ciascuna valle, una o più morene insinuate, le quali devono trovarvisi ancora, dove appena il seno o la valle siano vasti abbastanza perchè il torrente, piccolo o grande, che li percorre, abbia potuto poi scavarvisi un letto, senza demolire totalmente la barriera morenica. La cosa è tanto vera che io sfido a trovare un seno od una valle laterali alle nostre grandi valli al-

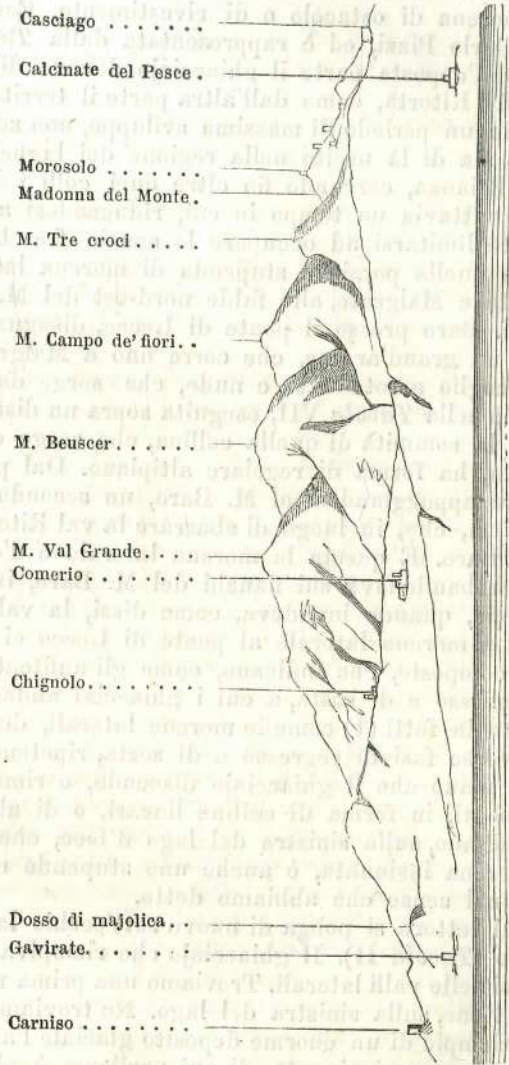
(1) Vedi sopra a pag. 27.

pine, dove non si trovino, piccoli o grandi, gli avanzi di una morena insinuata. La cosa è a tal punto che un geologo, prima d'ispezionare una valle laterale, solo che conosca in genere l'andamento e lo sviluppo dell'antico ghiacciajo che percorse la valle principale, può fissare l'altezza alla quale gli si presenterà il deposito riferibile ad una morena insinuata.

Volendo citare qualche esempio di *morena insinuata,* o di porzione considerevole di *morena laterale,* non c'è che a superare l'imbarazzo della scelta. Il signor Omboni nella sua preziosa memoria: *I ghiacciai antichi e il terreno erratico di Lombardia* (1) descrive e figura la magnifica porzione della morena laterale destra dell'antico ghiacciajo del lago Maggiore, rovesciata sulle montagne di Gavirate sulla sponda nord del lago di Varese al piede del Campo de' fiori (fig. 17) e delle montagne che ne dipendono. Su questa morena sono fabbricati i paesi di Carniso, Gavirate, Chignolo, Comerio, Calcinate, Casciago. Come altro modello di morena laterale, o piuttosto di porzione di morena laterale, citerò la doppia morena tra il ponte di Lecco e Malgrate, appartenente alla morena laterale destra del ghiacciajo che, diramandosi dal grande ghiacciajo del lago di Como alla punta di Bellagio, scendeva ad occupare il ramo di Lecco, e l'Adda fin sotto a Trezzo. A quella porzione della morena laterale destra fa riscontro, al di là del lago, la morena laterale sinistra, conservata in più punti, che rivestì le falde delle montagne che fanno corona al territorio di Lecco. Mi consenta il lettore alcuni particolari in proposito.

Casciago . . . . . .
Calcinate del Pesce .
Morosolo . . . . . .
Madonna del Monte .
M. Tre croci . . . .
M. Campo de' fiori . .
M. Beuscer . . . . . .
M. Val Grande . . .
Comerio . . . .
Chignolo . . . .
Dosso di majolica . .
Gavirate . . . .
Carniso . . . .

Fig. 17. — Morena laterale sui monti di Gavirate presso Varese.

Il ghiacciajo del ramo di Lecco, scendendo strozzato fra le montagne a picco che fiancheggiano il lago quasi dovunque fra Bellaggio e Lecco, si trovava libero finalmente di dilatarsi e d'espandersi presso quest'ultima città. Sulla sinistra del lago si dilatò nel gran seno descritto dal monte S. Martino a nord, dal Montalbano ad est e dalle propagini del Resegone a sud, formanti una specie di circo, la cui arena è ora occupata da Lecco e dal suo territorio. A destra trovava la valle Ritorta, fiancheggiata a nord dal Mongagli e dai Corni di Canzo, a sud dal monte Baro, aperta ad est verso il lago e ad ovest verso la Brianza. Il ghiacciajo naturalmente, dilatando l'uno e l'altro fianco, colmava a destra il circo di Lecco, e rovesciava l'enorme sua morena laterale sui fianchi delle montagne circostanti. I torrenti che ne discendono, la Galandra o Gerenzone, il Caldone

(1) *Atti della Società italiana di scienze naturali*, Vol. III, 1862.

e il Bione, demolirono più tardi la massima parte di quella morena, e crearono i terreni alluvionali terrazzati, convertendo un seno lacustre in un territorio fertile e ridente. Negl' intervalli però fra torrente e torrente, diverse porzioni della grande morena furono conservate. La più vasta è quella conservatissima che si distende fra il Caldone e il Gerenzone, formando un fitto rivestimento al Montalbano a nord-est di Lecco. Il cocuzzolo roccioso di esso monte sorge nudo da quella fascia di terreno detritico, coperto di boschi e di cólti, che lo rivestono fino a circa due terzi dalla sua altezza. Questa morena laterale è al tempo stesso una morena di ostacolo o di rivestimento. Essa fu disegnata dal vero dal paesista Carlo Pizzi, ed è rappresentata dalla *Tavola* VI.

Dall'opposta parte il ghiacciajo doveva dilatarsi verso sud-ovest, riempiendo la valle Ritorta, come dall'altra parte il territorio di Lecco. Ciò avvenne di fatto; anzi, in un periodo di massimo sviluppo, non solo il ghiacciajo invase la valle Ritorta, ma di là uscito nella regione dei laghetti briantei, buttossi sulle colline della Brianza, cercando fin oltre quei colli i limiti settentrionali della pianura. Vi fu tuttavia un tempo in cui, riducendosi a più modesti confini, il ghiacciajo dovette limitarsi ad occupare lo spazio fra Lecco e Malgrate, e fu allora che edificò quella porzione stupenda di morena laterale, che fiancheggia il lago fra Pescate e Malgrate, alle falde nord-est del M. Baro. Questa morena, staccandosi dal M. Baro presso il ponte di Lecco, disegna una collina lineare regolarissima, quasi un grand'argine, che corre fino a Malgrate, appoggiandosi da quella parte allo scoglio arrotondato e nudo, che sorge dal lago fra Malgrate e Parè. Come si vede nella *Tavola* VII, eseguita sopra un disegno preso dal vero dal signor Carlo Pizzi, la sommità di quella collina, che sorge come barriera fra il lago e la valle Ritorta, ha forma di regolare altipiano. Dal piano di esso sorge più in dentro, sempre appoggiandosi al M. Baro, un secondo argine, una seconda morena regolarissima, che, in luogo di sbarrare la val Ritorta, si ripiega all'indentro, fasciando il M. Baro. È questa la morena laterale e d'ostacolo ad un tempo, che il ghiacciajo abbandonava sui fianchi del M. Baro, in un periodo anteriore di maggiore sviluppo, quando invadeva, come dissi, la valle Ritorta.

La morena laterale al ponte di Lecco ci offre già un esempio di quelle morene composte, che indicano, come gli anfiteatri morenici composti, diversi periodi di regresso e di sosta, a cui i ghiacciai andarono per avventura soggetti. Abbiam veduto in fatti (1) come le morene laterali, deposte sui fianchi della valle, segnino le diverse fasi di regresso e di sosta, ripetendosi ad un livello sempre più basso, mano mano che il ghiacciajo discende, e rimanendo per ciò scaglionate sul fianco dei monti, in forma di colline lineari, o di altipiani paralleli. La morena laterale di Tassano, sulla sinistra del lago d'Iseo, che noi potevamo citare come modello di morena insinuata, è anche uno stupendo modello di morena composta o a gradini, nel senso che abbiamo detto.

Il lettore si ponga di nuovo sott'occhio la *Carta del sistema glaciale del lago d'Iseo* (*Tavola* II). Il ghiacciajo che riempiva quel lago doveva naturalmente insinuarsi nelle valli laterali. Troviamo una prima morena insinuata nelle valli di Marone e di Zone, sulla sinistra del lago. Ne troviamo un'altra potentissima sulla destra, che riempie di un enorme deposito glaciale l'alto bacino di Vigolo sopra Tavèrnola. Ma la morena insinuata, di cui parliamo, è più spettacolosa d'assai. Essa riempie il vasto circo descritto dalle montagne a fianco del lago tra Iseo e Sale. Il detrito glaciale che riempie quel seno ha una potenza di quasi 400 metri, misurandola dal pelo del lago. Le acque pluviali hanno profondamente inciso quel mobile riempimento, dividendosi in parecchi torrenti, da cui risultano altrettante sezioni naturali, le quali ci permettono di assicurarci, che tutto quel gran seno non è d'altro riempito, che da un cumulo caotico di detrito di schietta origine glaciale. In pari tempo, quelle sezioni presentano altrettanti profili nettissimi, i quali mettono in piena evidenza quella forma di morena composta, ossia che abbiamo descritta (2). La

(1) Vedi sopra a pag. 28.
(2) Vedi sopra a pag. 27.

fig. 18 presenta una di tali sezioni naturali, prodotta da un torrente che incide il seno quasi precisamente per lo mezzo, partendo dalla vetta del monte e incassandosi tosto profondamente nel detrito per giungere al lago, passando sotto Tassano. Questo paese è posto sopra un primo gradino, che si eleva quasi tutto d'un

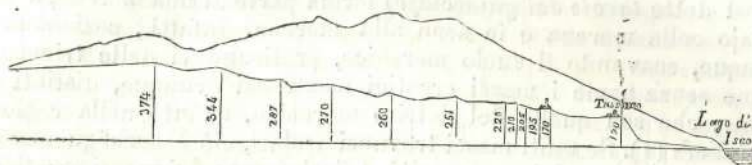



Fig. 18. — Sezione della gran morena insinuata a gradini nel seno di Tassano sul lago d'Iseo.

pezzo fino a 120 m. sul livello del lago. Ne viene un secondo di 170 m., poi un terzo di 195 m., e così ne contiamo fino a dodici, per arrivare al supremo che raggiunge l'altezza di 374 m. Trattasi qui evidentemente di *morena laterale composta e insinuata*, formata di dodici cordoni, ossia di dodici morene, fuse in una alla base, in corrispondenza a dodici periodi di regresso e di sosta dell'antico ghiacciajo del lago d'Iseo.

Ho detto che le morene laterali sono per la massima parte guaste e distrutte, sicchè sopra lunghi tratti si mostrano ignudi i fianchi rocciosi dei monti, che fanno sponda alla valle già percorsa da un ghiacciajo. Di rado però sarà così ignuda la rupe, che qualche rudere delle antiche morene non resti. In mancanza d'altro sarà quasi impossibile che voi percorriate un tratto di qualche centinajo di metri su qualunque più ignuda montagna che faceva sponda ad un ghiacciajo, senza scoprirvi un qualche *masso erratico*, senza imbattervi in alcuno di quegli antichi esuli dalle cime natali, abbandonato lì a tradimento dal ghiacciajo, che ne l'aveva portato.

Il fenomeno dei massi erratici è fenomeno mondiale: ma le regioni subalpine ne sono, direbbesi, il principale teatro. Dappertutto ai limiti settentrionali della pianura, in seno alle valli, nel letto dei torrenti, sul dorso dei colli, sui fianchi delle montagne, sui margini dei laghi, sui cigli dei precipizî, dappertutto, dico, veggonsi o solitarî, o in gruppi fantastici, o allineati a modo di mostruose falangi, quei pezzi enormi di graniti, di porfidi, di serpentini, di rocce alpine d'ogni genere, evidentemente divelti dai monti lontani, portati giù giù a centinaja di miglia di distanza, e posti a giacere, così rudi e informi, ove possono meglio stupirci, o col contrasto della loro natura colla natura della roccia sulla quale son posti a giacere, o con quello della loro rozza nudità colla veste florita del colle o del piano, ove si trovano come per sorpresa, o colla potenza della loro mole, o coll' arditezza delle loro posizioni di equilibrio. Così i graniti ed i serpentini della Valtellina si trovano per es. a giacere sui fianchi calcarei delle montagne del lago di Como, o sui colli arenacei della Brianza: così i porfidi della valle Camonica appajono in ruderi enormi in seno alla valle Cavallina, o sulle colline della Franciacorta: così pure i porfidi del Tirolo sono disseminati sui margini del Garda; e sulle sponde del lago Maggiore gli schisti micacei del S. Gottardo. I padri nostri si arrestarono stupiti davanti a quei monconi di monti lontani, che celavano un mistero. Come mai, per es., un masso di granito, strappato da una montagna sulla destra della Valtellina (come sono i massi di serizzo ghiandone e di serpentino verde porfiroide), aveva potuto sorvolare l'abisso del lago di Como, depresso centinaja di metri sotto il livello del mare, per venirsi a posare sul monte S. Primo, sui Corni di Canzo, a molte centinaja di metri sopra il livello stesso del lago? Ma il mistero è ora scomparso. Noi tutti sappiamo ormai che i ghiacciai riempirono le valli alpine, fin presso alle vette dei monti; riempirono i laghi, soverchiandone il livello di centinaja e centinaja di metri, e così fu gettato come un ponte fra le vette alpine al di là dei laghi, e i monti, i colli prealpini e la

pianura al di quà. Così poterono impunemente le rupi alpine, franate dalla cime nevose, sorvolando gli abissi, compire il loro viaggio fino a quel punto, ove si trovarono d'un tratto abbandonate dal ghiacciajo, che ritornava verso le vette native. Ma quei massi non erano così isolati, quando vennero dalle Alpi. Sa benissimo il lettore che un masso glaciale (eccettuandone qualche disertore, che vada a formare una delle così dette *tavole del ghiacciajo*) forma parte di una morena, e vien deposto dal ghiacciajo colla morena e in seno alla morena. Infatti, sezionando una morena qualunque, scavando il suolo morenico, praticandovi delle trincee, di mezzo ad un tritume senza nome i massi erratici mostransi ovunque, distinti dalla mole e dalle forme, che son quelle del detrito morenico, caduto nella regione dove il ghiacciajo si disfà (1). Se tanti massi trovansi isolati, ciò è conseguenza di fenomeni avvenuti posteriormente al loro deposito. L'isolamento dei massi erratici nei luoghi elevati, e principalmente nei più scoscesi, come il loro accumulamento nel letto dei torrenti, e la loro scarsezza o scomparsa nelle parti più basse, tutto dipende dalla stessa causa, cioè dalle acque pluviali o torrenziali. Sulle alture scoscese, sui forti pendii, poterono le acque smuovere facilmente il minore detrito fangoso e incoerente, spogliarne le montagne, distruggere in somma le morene come abbiam detto. Ma i grossi massi, trovato un punto d'appoggio qualunque sulla montagna, non poterono, per lo stesso loro peso, essere smossi; per ciò l'acqua non fece che svestirli del minore detrito che li fasciava, e lasciarli isolati dove stanno, disegnando, a modo di altrettanti capi-stabili, la pianta della morena distrutta. Molti di essi però, men ben saldi sui fianchi sdrucciolevoli del monte, precipitarono giù, e rimasero ingombro al torrente, invalido finora a travolgerli col minore detrito, ovvero furono sepolti, principalmente nelle regioni più basse, in seno allo stesso minore detrito, che le acque deposero sovr'essi in forma di depositi alluvionali.

Anche nel citare esempî di massi erratici non c'è che il pericolo di una troppo prolissa enumerazione. Ve n'hanno dappertutto a centinaja, a migliaja, a milioni ai piedi e sui fianchi delle Alpi. E sì che i rimasti fino ad oggi non sono che le ultime povere reliquie di un esercito innumerevole che venne distrutto. Si osservi per es. quanto sperpero si è fatto di serizzo ghiandone (granito porfiroide a feldspati grossissimi) nell'edilizia lombarda. Quasi non v'ha casa in Lombardia che non ne abbia composti o gli stipiti delle porte, o i davanzali delle finestre, senza contare le intere facciate di chiese, e migliaja e migliaja di colonne d'ogni dimensione. Eppure di quel granito forse nemmeno un bricciolo fu portato giammai dalle grandi alture sopra il Masino, fra la Valtellina e Chiavenna, dove unicamente esso granito ha sua sede nelle Alpi. Quante migliaja di massi erratici distrutti a quel modo! I pochi superstiti (pochi in paragone dei molti distrutti) devono la loro conservazione piuttosto alla difficoltà di assalirli, che alla buona volontà di risparmiarli. Noi li troviamo ancora abbondanti sulle alture, nei luoghi più deserti, dove l'utilizzarli sarebbe quasi altrettanto dispendioso, quanto il prendere il materiale direttamente nelle Alpi, dove la roccia matrice si trova in posto. I nostri padri videro certamente le regioni più prossime alle pianure sparse di milioni di quei massi, che noi cerchiamo a stento, affaticandoci sui fianchi delle Prealpi. È una osservazione dei sigg. fratelli Villa questa, che gli avelli d'epoca romana e forse più antichi, i quali, in sì gran numero e di forme così colossali, si trovano a Milano o nelle vicinanze, sono di serizzo ghiandone. Bisogna dire che di massi della citata roccia ce ne fossero ben delle migliaja a non molta distanza dalla nostra città. Gli stessi fratelli Villa videro ancora alla fine del primo quarto di questo secolo il gran masso di *Sasso freddo*, presso Arosio in Brianza, che serviva come cava di pietre, chi sa da quanto tempo. Era un masso di schisto talcoso assai compatto, che misurava allora almeno 8000 metri cubici; ma da notizie raccolte, sulla fine del secolo scorso doveva avere una potenza almeno di 60000 metri cubici. Da molto tempo più non esiste. Così avverrà del gran masso di

(1) Vedi sopra a pag. 25.

serizzo ghiandone, trovato sopra Valmandrera, da cui l'architetto Bovara trasse le quattro enormi colonne di quella gran chiesa, rimanendone ancora quanto bastasse per fabbricarne nel caso le colonne della facciata. Procedendo di questo passo i non tardi nipoti finiranno a dubitare del vero, leggendo quanto si scrisse e si scrive sull' enormità e sulla moltitudine infinita di quei monumenti di una delle più grandi e più universali rivoluzioni del globo. Bisognerebbe quindi che anche da noi si fondasse, come fu istituita nella Svizzera, una società per la conservazione dei massi erratici. Si conservano con sì gelosa cura i monumenti della storia dell'uomo: perchè si distruggeranno senza misericordia quelli della storia del mondo? I presenti però, come dissi, possono consolarsi di non incontrare ancora nessuna difficoltà nella scoperta dei massi erratici, principalmente fino a tanto che l'edilizia non ricorra a certe rocce, per es. ai serpentini delle Alpi, dalle quali potrebbe pure trarre molto utile partito. Di massi erratici, ripeto, ve n'hanno ancora a migliaja dovunque sui versanti delle Alpi e delle Prealpi. Ne accenneremo alcuni fra i più noti, e i più distinti.

Per contemplare uno di quei campi sparsi di massi che furono paragonati ai campi fantastici, dei giganti della favola, puossi visitare la morena della Selva presso Clusone (valle Seriana), la cui topografia si vede nella *Carta del sistema glaciale del lago d'Iseo* (*Tavola* II). La figura 19 non presenta che un piccolo

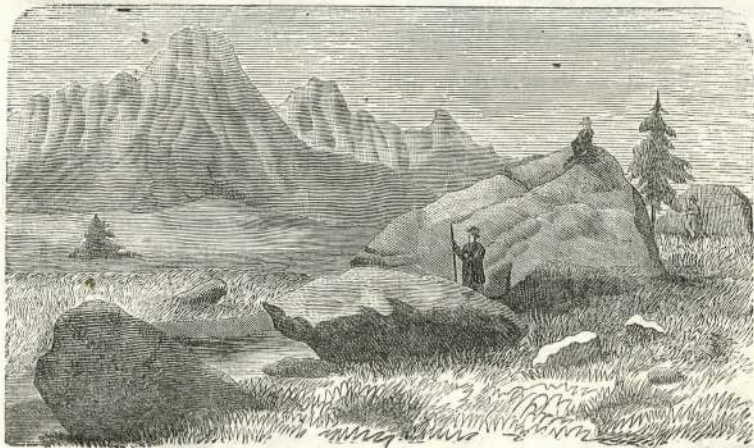



Fig. 19. — Massi erratici della morena della Selva presso Clusone.

gruppo di quei massi accatastati a fior di terra; ma tutta quella larga eminenza selvosa è ugualmente disseminata, quasi ricoperta, da una congerie di massi, d'ogni forma, d'ogni dimensione, a spigoli vivi, come strappati in quell'istante dalle montagne, che sorgono a nord a grande distanza nell'alta valle Seriana.

La *Tavola* VIII presenta un masso erratico, di cui non v'ha nessuno che mi abbia più colpito nelle mie corse geologiche. È un masso di serpentino, proveniente dalla Valtellina, e deposto sul fianco della montagna dipendente dai Corni di Canzo, che si leva a picco sopra Civate (sponda destra del lago di Lecco). Quel masso immane, di 2000 metri cubici circa, giace là isolato sopra una sporgenza di dolomia, strapiombando sopra un abisso, da cui si precipita a cascata il torrente. Sul fondo dell'abisso si scorge un'altro masso dello stesso serpentino, della potenza di ben 300 metri cubici, da cui si cavarono le belle colonne, che adornano l'altar maggiore della chiesa di Valmadrera. In esso parvemi ravvisare con certezza un frantume staccatosi dal masso maggiore. Molti altri massi gli fanno corteo nel letto del torrente, e di lì, ascendendo verso le alture che fiancheggiano il lago, una numerosa fila di massi di serpentino o di granito ghiandone delinea il piano discendente del ghiacciajo, la cui morena fu quasi interamente lavata via e condotta

dalle acque ad occupare il fondo della valle Ritorta, cui arricchì di fertile terriccio. Il monte S. Primo e le montagne dipendenti, che dividono in due rami il lago di Como, sono ugualmente sparsi d'innumerevoli massi, che furono già os-

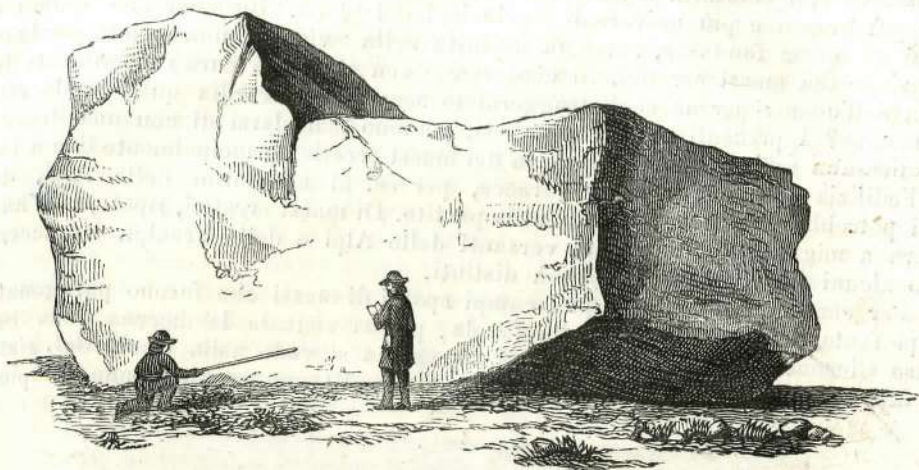



Fig. 20. — Masso erratico dell'Alpe di Pravolta sopra Bellagio (Lago di Como).

servati e descritti dal La Beche, come una delle maraviglie del terreno erratico in Europa.

Lo stesso La Beche per es. descrive il gran masso erratico dell'Alpe di Pravolta (fig. 20) che posa sul S. Primo ad un'altezza di 700 m. sul livello del lago. Sono poi volgarmente conosciuti negli stessi dintorni il Sasso Luna, la Pietra

Fig. 21. — Pietra di Lentina sopra Blevio (Lago di Como).

Nairola, ed altri a mille a mille. Meravigliosi per le strane condizioni d'equilibrio sono fra gli altri il sasso di Lentina (fig. 21) e la Pietra Pendula (fig. 22). Consta il primo di un gran prisma regolare di granito di 1648 m. cubici circa,

che è posto orizzontalmente a guisa di architrave, appoggiato con una delle estremità al fianco della montagna, e sostenuto presso l'altra estremità da uno scoglio

Fig. 22. — Pietra Pendula sopra Torno (Lago di Como).

calcare. La Pietra Pendula è un altro masso informe, che posa in equilibrio, a mo' di ombrello, sulla punta acuta di uno scoglio.

Per staccarci dal gran ghiacciajo del lago di Como, possiamo avvicinarci a quello del lago Maggiore. Ci vedremo p. es., fra i molti sparsi dovunque, il gran masso erratico di Fraschirolo presso Varese (fig. 23), rude pezzo di porfido rosso, staccato dalle cime porfiriche della val Ganna, e posto a giacere sulla collina allo sbocco della stessa valle.

Per terminare con un esempio veramente classico, citeremo il gran gruppo di massi erratici a cui appartiene il Cavallaccio sulla sponda orientale del lago Maggiore. Il cosidetto Cavallaccio (fig. 24) è notevole singolarmente per la sua forma prismatica e l'integrità degli spigoli, che accusano la più perfetta conservazione. Il Cavallaccio emerge dalle arene precisamente in riva al lago, al piede della morena d'ostacolo del S. Quirico, di cui parleremo tantosto. Massi minori sono disseminati a centinaja sulla spiaggia. Nell'interno delle boscaglie allineate al piede della suddetta morena, nel piano d'Inquasso, scopresi una serie veramente meravigliosa di massi della stessa natura (micaschisto), di dimensioni enormi, che sono certamente il prodotto di una frana gigantesca, la quale, arrestatasi alla superfice del ghiacciajo in seno alle Alpi, sorvolando al lago Maggiore, venne a scaricarsi a' piè del S. Quirico. Le onde del lago, scalzando le basi della morena e convertendo in arena il detrito minore, lasciò intatti e isolati i massi maggiori, che resistettero, come fa ancora il Cavallaccio, alla furia delle onde. Ma basti. Tutti gli scritti degli autori sono pieni di descrizioni e di figure di tali massi, che, strappati alle più nevose vette delle Alpi, vennero a formare uno dei tratti più caratteristici del suolo, onde si compongono i piani ubertosi e le ridenti colline ai limiti della grande pianura.

Non abbiamo ancora parlato delle *morene d'ostacolo*, e potremmo risparmiare di parlarne distintamente, limitandoci a dire che in qualunque luogo si verifichi, o in grande o in piccolo, la biforcazione di una delle antiche nostre valli glaciali, il rilievo, che si erge a valle nel punto di biforcazione, sarà, o piuttosto è real-

mente, rivestito da una morena, la quale, come abbiamo detto (1), non è che porzione di morena frontale. Perchè non manchino tuttavia esempî parlanti di un fenomeno che ci offre una prova così evidente dello sviluppo degli antichi ghiacciai nelle nostre Alpi, ne citerò due, meritevoli di speciale menzione, l'uno per la sua grandiosità, l'altro per la sua evidenza.

Il primo esempio, a cui alludo, è quello offerto dal già citato monte S. Primo, o piuttosto da quel gruppo di montagne che sorge a mezzodì fra i due grandi rami del lago di Como. Il ghiacciajo, formato dalla confluenza dei due grandi ghiacciai della Valtellina e della valle del Liro, riempiendo il lago di Como, do-

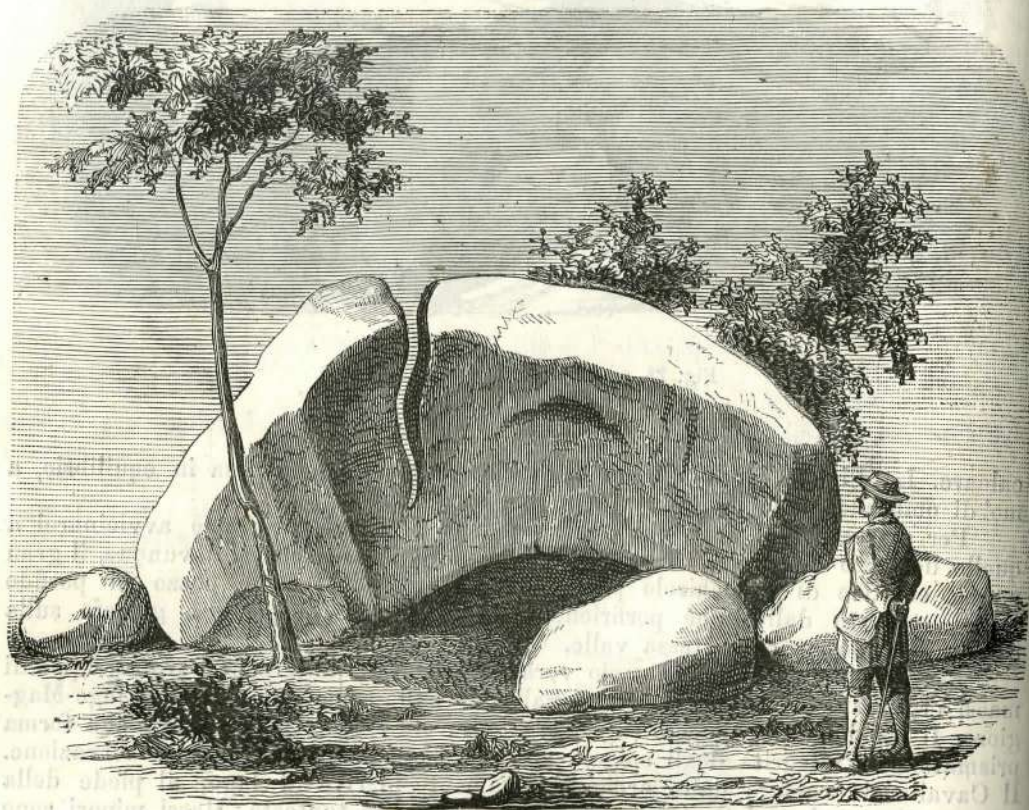



Fig. 23. — Masso erratico di Fraschirolo presso Varese.

veva urtare dapprima contro la punta di Bellaggio, e là dividersi in due grandi rami, come fa il lago attualmente, piegando la sua fronte, e rovesciandosi con essa sul gruppo di montagne accennate. Quegli ammassi detritici e quei massi giganteschi, rovesciati sui fianchi del monte S. Primo e di tutto quel gruppo di montagne, che richiamarono già l'attenzione di Enrico La Bèche, assai prima che la teorica glaciale fosse nata, non rappresentano altro che una gran morena, o piuttosto un grande *sistema di morene d'ostacolo.* Il fatto è così evidente, che non ha bisogno di commenti.

Ma l'esempio più parlante di morena d'ostacolo è quello, che si presenta sul S. Quirico al nord di Angera. Il lago Maggiore presso il suo termine si stringe fra

(1) Vedi sopra a pag. 29.

le ignude rupi di Arona e quelle di Angera, che formano appunto la base occidentale e meridionale del monte S. Quirico. Ma lo stesso monte figura quasi come un'isola, essendo separato dalle altre montagne, a occidente dal lago, a oriente da una pianura, ossia da una vasta depressione. Se il lago si alzasse di qualche ven-

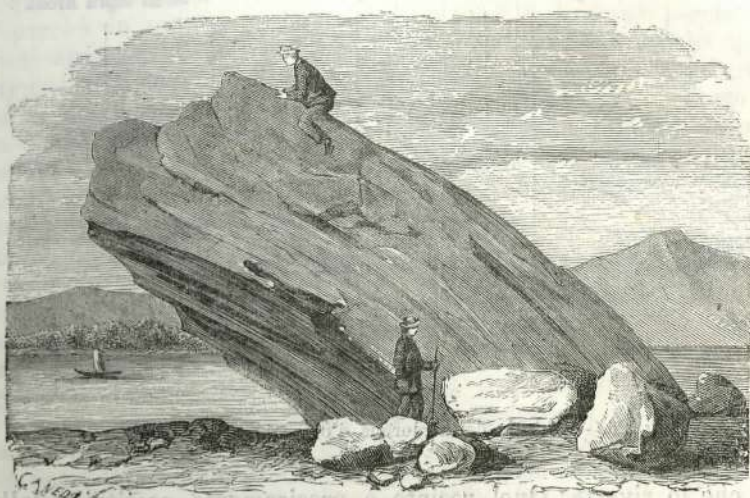



Fig. 24. — Il Cavallaccio presso Angera (Lago Maggiore).

tina di metri sopra l'ordinario suo livello, invaderebbe la pianura, e il S. Quirico rimarrebbe veramente come un'isola in mezzo al lago. Ciò che non avviene del lago, avvenne dell'antico ghiacciajo, che ne occupava il letto, levandosi a più centinaja di metri sul livello attuale delle acque. Il S. Quirico sorgeva dunque come un' isola in mezzo al ghiacciajo, che, diviso in due rami, occupava a occidente

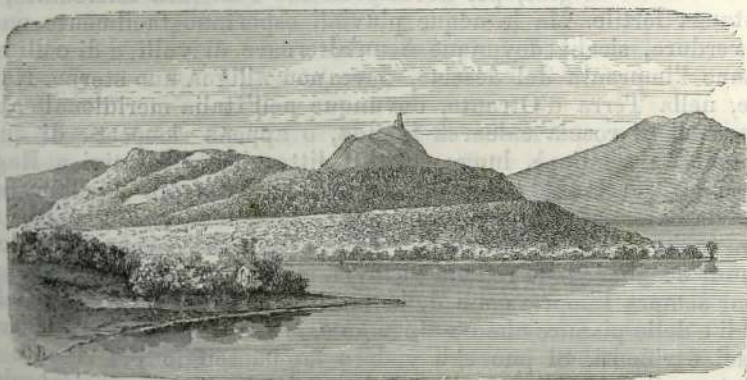



Fig. 25. — Morena d'ostacolo sul San Quirico veduta da Ispra.

l'area attuale del lago, a oriente quella della pianura. Il S. Quirico, in quelle condizioni, doveva rivestirsi a monte di terreno glaciale, cioè d'una morena d'ostacolo. Le figure 25 e 26 mostrano l' attuale costituzione di quella montagna. A valle, cioè dal lato di mezzodì, essa vedesi ignuda, costituita da una gran massa

di porfido rosso, a cui si appoggiano le calcaree raddrizzate fino alla verticale; a monte invece, cioè dal lato di settentrione, dove lo mostrano le figure citate, vedesi il cucuzzolo di nudo porfido spiccarsi da un recinto, che ha forma di doppio terrazzo semicircolare, la cui indole detritica è rivelata dalla esuberante

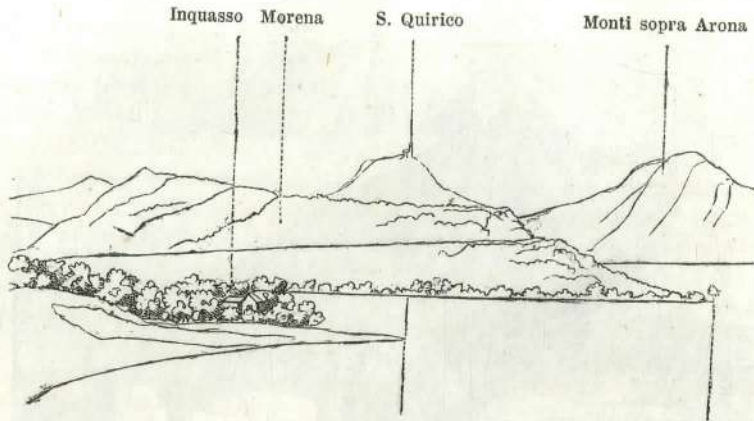



Fig. 26. — Profilo della morena d'ostacolo sul S. Quirico.

vegetazione che lo riveste. Quel recinto è precisamente costituito dalla *morena d'ostacolo,* che abbraccia la montagna al modo stesso p. es., che il monte Somma cinge il Vesuvio.

Nella storia geologica dell'Italia è un grande, meraviglioso episodio questo della dispersione del terreno erratico, per opera degli antichi ghiacciai. Che sarebbe la regione delle Alpi, che sarebbe tutta l'alta Italia, senza il provvidenziale lavoro dell' epoca glaciale? Osserviamo l'Apennino: come è in genere sterile e brullo appena si elevi al di sopra dei piani alluvionali! È vero che la natura è ricca di riprese, nè ebbe sempre bisogno di terreno glaciale per creare la fecondità del suolo. Nell'Apenino p. es., abbondano le argille e le sabbie, e le rocce argillose e sabbiose, che danno origine, per decomposizione e mistura immediata, a un terriccio abbastanza fertile. Ma le acque pluviali esportano facilmente quel velo di superficiale verdura, sicchè dovunque è un'alternare di valli e di colli erbosi, con altri che hanno l'impronta del deserto, dove non alligna uno sterpo. Nella Puglia, fino a Lecce, nella Terra d'Otranto, dovunque nell'Italia meridionale abbiamo vastissime estensioni di roccia calcarea ignuda, o appena ricoperta di qualche pollice di terriccio. La Sicilia è, lungo tutto il littorale da Lentini a Ragusa, e in molti altri luoghi, quasi una tavola di schietto marmo. Ma il clima subtorrido, gl'inverni dolcissimi, permettono lo sviluppo di una flora, che direbbesi creata apposta per un suolo roccioso. Gli olivi, i fichi d'India, le carubé, si radicano e prosperano sui nudi scogli. Quelle regioni tuttavia, in chi è avvezzo al paesaggio alpino, lasceranno pur sempre l'impressione della sterilità. Anche al di fuori delle antiche regioni glaciali e delle pianure che ne dipendono, si troveranno, senza uscire d'Italia, distretti feraci e ridenti. Si può egli vedere un paesaggio più ridente di quello che ci presentano il golfo di Napoli e il littorale da Messina a Catania? Ma in quei luoghi vediamo ai ghiacciai sostituirsi i vulcani; ad una macchina, per l'elaborazione delle terre, un'altra. I cumuli di ceneri e di lapilli gareggiano di feracità colle morene, e le stesse lave, decomponendosi, si coprono di fecondo terriccio. Ma senza il portato degli antichi ghiacciai, quale aspetto presenterebbero le nostre montagne coi loro calcari ignudi, colle loro dolomie così aride e bianche, con un clima relativamente freddo, cogl'inverni rigidissimi? Volete sapere come si sarebbero presentati i paesi dell'alta Italia, quando non fossero stati soggetti all'invasione dei ghiacciai? Portatevi al di sopra dei colli coperti di detrito glaciale e

delle valli dove lo stesso detrito si è accumulato sotto la forma delle morene insinuate: salite p. es. il S. Martino, le Grigne; inoltratevi nelle valli prealpine fiancheggiate dalle calcaree e dalle dolomie tanto sviluppate nelle Prealpi lombarde. Quale spettacolo! Voi salite ore ed ore, aggirandovi in mezzo a un deserto sparso di scogli giganteschi. Il torrente scende solitario di balza in balza, e rumoreggia, quasi lagnandosi della sua vita infruttuosa. Perchè d'un tratto si muta la scena? perchè in seno a quelle valli tante oasi fortunate? perchè ai piedi di quegli ignudi dirupi tanti territorî che sembrano giardini? perchè quei colli coperti di vigneti e di boschi? e quelle rive che si specchiano nei laghi, coperte di così vario ammanto di verzura e di fiori? Perchè?.... Tutto è terreno glaciale; non altro che terreno glaciale. Talora in seno alle più deserte montagne, a piombo sui precipizî, tutto nudità all'ingiro, eccovi un bosco, dei prati, dei campicelli, e in mezzo ad essi un campanile che torreggia sopra le casette biancheggianti di un paesello: quella vaga scena si direbbe un sorriso sul volto rannuvolato di un infelice. Saranno talvolta soltanto un pascolo, una stalla. Se andate a vedere, troverete che il fondo di quel quadro, il suolo di quel paesello, di quella cascina, è un pezzo di morena dimenticato nella strage, che del detrito glaciale fecero le acque, traendolo al basso. Sopra Varenna p. es., vediamo il piccolo ma vago territorio di Perledo coperto di vigneti e d'ulivi. I marmi neri traspajono ignudi di mezzo alla verdura; il sole e la pioggia quasi nemmanco li scolorano: ma sopra quei marmi è buttato uno strappo di morena; e tanto basta perchè una rupe ignuda diventi un giardino. Più in sù tutto è scoglioso. Il S. Defendente, il Sasso Mattolino, la Grigna, che i paesani chiamano *Pelata*, formano un diadema di vette ignude e biancheggianti che incorona una depressione, formando un bacino. Tutto è nudo e brullo all'ingiro; ma sul fondo di quel bacino due vaghi paeselli: Esino inferiore e superiore; intorno ad essi dei campi; più in alto, a' piedi delle vette ignude del M. Codeno, i pascoli di Cainallo. Tutto si deve ad una morena insinuata, cioè ad una porzione della morena laterale sinistra del ghiacciajo del lago di Como, che riuscì ad annidarsi nella valle. Vi ha egli un pezzo di terra più vago della Tremezzina? Eppure le onde del lago si frangono da una parte contro l'ignuda rupe della Maiolica, dall'altra contro la scogliera, ignuda del pari, che, dall'isola di S. Giovanni, corre fino ad Argegno. Ma in mezzo a quelle rupi era scavato un seno al fianco dell'antico ghiacciajo; e questo riempillo di morena, che, coperta di rigogliosa vegetazione, specchiasi nel lago e chiamasi Tremezzina. Così è di tutta la regione subalpina, e tutto è beneficio degli antichi ghiacciai, chè dagli sterili seni trassero tutti quegli elementi di fecondità, per cui l'alta Italia è lodata fra le più belle e le più fertili regioni del globo.

Fin qui non abbiamo però riflesso che agli effetti attribuibili all'azione della superfice o dell'interno del ghiacciajo. Questi effetti riguardano il mobile detrito, la sua forma, la sua distribuzione. Ma vi ha un'altra serie di effetti, la quale si riferisce ai lati, al fondo dei ghiacciai, a tutta la superfice, che incombe al letto immobile, roccioso della valle. Abbiamo riconosciuto come il ghiacciajo, discendendo a modo di solido fiume, eserciti sulle rocce un'azione meccanica poderosa; come, armato di grani e di ciottoli durissimi, è quasi una gran lima, mossa da mano possente sulla superfice delle rocce, che ne escono smussate, arrotondate, striate, scanalate. L'alta Italia presenta essa anche questi segni dell'invasione degli antichi ghiacciai?

L'arrotondamento delle rocce delle regioni subalpine, è quanto si può dire, fenomeno universale, evidentissimo, tale che imprime al paesaggio un carattere marcatissimo, che non sfuggì all'occhio dei primi osservatori. Saussure è quello, se ben mi ricorda, che aveva rimarcato come il granito nelle Alpi si presentava esternamente sotto due forme differenti. Nelle parti superiori delle montagne sorge irto, dirupato, in grandi pilastri angolosi, a denti, ad aguglie: nelle parti inferiori invece, cioè partendo dal letto delle valli, fino a un certo limite, maravigliosamente tracciato, lo stesso granito prende delle forme tondeggianti, forma delle

sporgenze ondulate, dei colli arrotondati. L'illustre geologo era già indotto a pensare che si trattasse di due graniti, la cui differente natura si traduceva nella differenza esteriore delle forme. Ma ciò che Saussure osservava nei graniti, ciascuno può osservarlo nei calcari, nelle puddinghe, nelle rocce di qualunque natura, senza che si riveli nessuna differenza o di struttura o di composizione fra le parti arrotondate e quelle che nol sono. Soltanto le prime occupano le regioni inferiori delle valli; mentre le altre ne occupano le superiori: una linea discendente, ben tracciata, segna ovunque il limite fra le une e le altre, cioè fra le rocce arrotondate, a dorso di montone, e le rupi irte e taglienti. Questa linea di demarcazione è precisamente il limite superiore del ghiacciajo, il quale potè lisciare, arrotondare, striare, scanalare le rocce di qualunque natura, fino all'altezza a cui giungeva, mentre più in alto i monti sfuggirono alla sua azione degradatrice, e conservarono la rudezza nativa. Nelle regioni più interne delle Alpi, presso il limite degli attuali ghiacciai, il fenomeno si presenta in un modo veramente meraviglioso. Vedreste per es., l'altipiano del S. Gottardo, composto di graniti, morbidamente ondeggiante, a piccoli colli e bacini, lavorati con una finezza estrema, tutto striato con un parallelismo matematico, che è uno spettacolo sorprendente. Rimontando la valle della Toce verso la celebre cascata, vedreste come il ghiacciajo, strizzato con immenso sforzo entro la strettissima gola, dovette lasciarne le pareti levigate a mo' di marmo, e ondeggianti per migliaja di morbide scanalature. Ma anche nelle regioni più lontane dagli attuali ghiacciai, anche ai limiti della lombarda pianura, ove si arrestò la marcia degli antichi, il fenomeno non si presenta talvolta meno evidente. Dico talvolta, perchè la natura delle rocce, l'erosione meteorica che vi lavora da tanti secoli, distrussero in gran parte l'opera del ghiacciajo, cancellando le strie, rendendo la superfice delle rupi di nuovo aspra e puntuta. Il tondeggiamento però non lascia di rivelarsi quasi ovunque abbastanza marcato fino a un certo limite d'altezza. Quando poi la roccia venne, per qualunque ragione, protetta dalla erosione, non dubitiamo che il fenomeno descritto non si presenti come nelle regioni più prossime agli attuali ghiacciai. Tale azione protettrice fu esercitata singolarmente dallo stesso detrito glaciale, ove non potè venir esportato dalle acque. Scavando ov'esso esiste, la roccia vi si presenterà sempre liscia, splendente, come fosse stata appena jeri sottratta all'azione dello smeriglio glaciale. Eccovi in proposito degli esempî parlanti, cominciando da quello che mi presentò il monte Baro.

Le basi del monte Baro, ancora coperte in gran parte della morena laterale dell'antico ghiacciajo del lago di Como, sono anche arrotondate, come mostra la *Tavola* VII, benchè già assai guaste dagli agenti atmosferici. Avvenne tuttavia recentemente che si scavasse una breve trincea, per migliorare la viuzza che conduce dalla chiesa di San Michele a Galbiate. Si venne così, levando il detrito, a trovare la roccia ancor vergine, la quale mi apparve liscia come levigatissimo marmo, e tutta percorsa da monte a valle da strie finissime, conservanti un perfetto parallelismo; è la roccia stessa, cioè la dolomia, che dove si trova allo scoperto, è così irta, ruvida, tutta punte e creste acute. Ne feci levare dei grossi pezzi, che si conservano al museo di Milano. Chi voglia poi ammirare in tutta la sua potenza il fenomeno stesso, sopra la stessa roccia, si porti alle Fornaci di Paré, sulla sponda destra del lago di Lecco, ove la dolomia triasica serve alla fabbricazione della calce. Il Mongagli, dipendenza dei Corni di Canzo, fiancheggia il lago con rupi a picco di dura dolomia, aspra e irta come dovunque. Le basi del monte però, fin verso l'altezza di 100 m., sono protette dallo sfasciume, cioè da una frana di massi dolomitici, che vennero a coprire il detrito morenico o piuttosto a mescolarsi con esso a' piedi della montagna. Il tritume dolomitico recente si confonde coi massi di granito, di serpentino, coi ciottoli striati, in somma col tritume glaciale, formando con esso una copertura, che protesse le falde del monte dall'azione degli agenti atmosferici. Ma l'industria, che da secoli attinge a quei cumuli la roccia che si converte in calce, secondando l'azione delle acque pluviali, ha messo a nudo la roccia sopra centinaja di metri in altezza e lar-

ghezza. È veramente spettacoloso l'aspetto che presentano quelle vaste superficie arrotondate, levigate come il marmo, percorse da numerosissime strie, che si disegnano in bianco sulla superficie quasi cenerognola della dolomia.

Accennerò un'altro esempio nel quale il fenomeno dell'erosione, esercitata dagli antichi ghiacciai sulla superfice dei rilievi subalpini, è quanto si può dire parlante. Il ghiacciajo che percorreva il ramo occidentale del Lario, si levò così alto sopra il livello attuale del lago, che venne a sorverchiare d'assai le vette dei colli, che si elevano all'ingiro di Como. Quella catena di colli, ad occidente della città, che si dirige dapprima a sud, terminando da quella parte col Castello Baradello sopra Camerlata, per ripiegarsi poi verso ovest lungo la via da Camerlata a Varese, essendo stata coperta dal ghiacciajo, dovette naturalmente uscirne arrotondata. Quei colli ci presentano in fatti uno dei migliori esempî di quelle che i francesi chiamano *roches moutonneés*, come appare dalla *Tavola* IX, eseguita sopra uno schizzo preso dal vero dalla nobile signorina Carolina Riva. Ma, oltre a quell'arrotondamento, che si verifica per tutte le sporgenze state sepolte sotto un ghiacciajo, qualunque sia la roccia che le costituisce, che cosa dovrebbe avvenire, quando la roccia si componesse di ciottoli arrotondati, fosse cioè una puddinga? I ciottoli sarebbero naturalmente erosi, adeguati tutti allo stesso piano, finchè venissero a disegnare una specie di pavimento a mosaico. I ciottoli sferici o elittici verrebbero così a pigliare la forma di un emisfero o di un semielissoide, avente per base un piano, su cui apparirebbero il liscio e le striature, caratteristici delle superficie glaciali. La puddinga miocenica, che si rizza verticalmente sotto il castello Baradello, fra Como e Camerlata, composta di grossi ciottoli rotolati d'ogni natura, e che dovette essere fortemente strofinata dal ghiacciajo stesso, che tutto ricoprì delle sue morene i dintorni, presenta appunto meravigliosamente il fenomeno che abbiamo descritto. La fig. 27 è appunto quella di uno dei ciottoli, scelto fra i mille che compongono la superfice di quel conglomerato.

Fig. 27. — Ciottolo eroso e striato nella puddinga sotto il Castello Baradello presso Camerlata.

Non abbiamo parlato finora della distribuzione del detrito in rapporto coi luoghi di sua provenienza. Abbiamo veduto come il detrito glaciale debba in primo luogo trarre la sua origine dalla valle stessa, d'onde scende il ghiacciajo. Deve in secondo luogo lo stesso detrito essere distribuito secondo i versanti. Le regioni subalpine devono dunque presentare una tale distribuzione nel detrito proveniente delle Alpi che copre le basi delle montagne, i colli e le dipendenti pianure. Della prima legge, che riguarda la distribuzione del detrito in dipendenza immediata della valle percorsa da ciascuno degli antichi ghiacciai, non occorre quasi parlare. Le morene del lago d'Iseo constano di rocce della Val Camonica; quelle del lago di Como, di rocce della Valtellina. Insomma la distribuzione dei diversi elementi detritici provenienti dalle Alpi è un fatto, che si osserva su tutta la zona glaciale subalpina. Le morene, i massi erratici, il detrito fluvio-glaciale posto allo sbocco di qualunque valle o alla estremità di qualunque lago, rispondono perfettamente, per l'identità di natura, alle rocce, che costituiscono le montagne, le quali fiancheggiano, ogni singola valle, ogni singolo lago, superiormente ai depositi stessi indicati. Una tale distribuzione può quindi influire assai sull'indole del paesaggio e assai più sulla economia agricola d'ogni singola regione. Accennerò in proposito un fatto importantissimo. Seguendo la linea, che confina le colline a mezzodì tra l'Adda e il lago Maggiore, noi troviamo che tra esse colline e la bassa pianura esiste una specie di altipiano quasi continuo. Esso altipiano è diviso in due grandi regioni principali: l'una nota sotto il nome di Groana, che comprende le brughiere in parte coltivate e in parte

sterili di Mariano, Barlassina, ecc.; l'altra s'indica col nome di brughiera di Gallarate e di Somma. Le Commissioni, da lungo tempo istituite per lo studio delle brughiere allo scopo di fertilizzarle, avevano già segnalata la specialità del terreno che distingue le due regioni. La Groana è costituita da una terra compatta, poco permeabile, d'indole argillosa, che si distingue col nome poco proprio di *ferretto*. Nelle brughiere di Somma e di Gallarate invece predomina l'indole sabbiosa. Queste sono in genere assai più sterili della Groana, dove segnatamente riesce la coltura del frumento. Quale è la ragione di tale divario? È, per mio avviso, semplicissima. Gli altipiani, che si distendono tra le colline moreniche e la pianura subalpina, non sono altro per me che i depositi alluvio-glaciali, cioè detrito deposto dalle fiumane sgorganti dai vasti ghiacciai, che, arrestatisi approssimativamente ai limiti meridionali delle colline, riversavano le acque, ricche di torbida, immediatamente sul piano. Ora l'altipiano della Groana dipende dal ghiacciajo, che, proveniente dalla Valtellina, passava sopra Como e terminava presso Barlassina. Le dioriti, i porfidi, le serpentine, le rocce talcose, ecc., che predominano in Valtellina, erano le più atte a dare un detrito argilloso, dipendendo l'argilla, segnatamente dalla decomposizione delle rocce feldspatiche. Le brughiere di Gallarate e di Somma invece dipendono dal Ticino, ed il loro materiale venne fornito dai grandi ghiacciai provenienti dal gruppo del S. Gottardo. L'enorme sviluppo dei gneiss, dei micaschisti, dei graniti, in genere delle rocce granitiche del gruppo del S. Gottardo, triturate dai ghiacciai, doveva dare un detrito eminentemente sabbioso. Ho esaminato il detrito glaciale, sia sulle sponde del lago di Como, sia su quelle del lago Maggiore, e credo non si possa meglio caratterizzare il primo, che indicando il predominio delle dioriti, dei serpentini e dei calcari, mentre il secondo è caratterizzato dal predominio dei gneiss e dei micaschisti.

Ma la dipendenza del detrito dalle elevazioni a monte del luogo dove esso è deposto, è carattere comune tanto al glaciale, come a quello delle alluvioni. Ma la distribuzione secondo i versanti è quella che non permette in nessun modo di confondere il terreno glaciale col terreno alluvionale. Essa offrirebbe materia di uno studio brillante. Accennerò un solo esempio veramente classico. Tutti conoscono il *serizzo ghiandone*, o granito porfiroide dell'alta Lombardia. Mi era noto, dirò, fin da bambino, che i nostri tagliapietre non trovano il serizzo ghiandone in massi erratici o *trovanti*, se non sui fianchi delle montagne, che separano i due rami del lago di Como, cioè sul versante destro del ramo di Lecco, e sul sinistro del ramo di Como. Come mai, in seno alla stessa valle, una roccia di trasporto abbonda talmente da un lato, ed è affatto ignota dall'altro? Per rispondere portiamoci a vedere dove esista quella roccia da cui si staccarono i giganteschi *trovanti*, e come con essi doveva comportarsi il ghiacciajo seguendo la legge della distribuzione del detrito secondo i versanti.

Il serizzo ghiandone costituisce una massa gigantesca nei monti che sorgono fra la Valtellina e la valle di Chiavenna o del Liro, continuata colla valle Bregaglia. I due ghiacciai della Bregaglia e della Valtellina dovevano confluire sul piano di Colico. La morena sinistra dell'uno doveva unirsi colla destra dell'altro; doveva formarsi quindi una morena mediana ricca di serizzo ghiandone: essa doveva correre diritta ad investire la punta di Bellagio, e rovesciarsi sul S. Primo e sui monti che ne dipendono. Soltanto su questi gruppi di monti tra Lecco e Como potevan dunque deporsi i massi di ghiandone, come si osserva di fatto. Per quanto rovistassi i dintorni del lago di Como, non mi riuscì di constatare che una sola eccezione al fatto che espongo. Alludo a un grosso trovante di ghiandone, che giaceva isolato presso Perledo, sulla sponda sinistra del ramo di Lecco; ma è proprio il caso di dire, che l'eccezione conferma la regola. Ricordate le *tavole de' ghiacciai* (1)? Quei massi, d'ordinario si grossi, che si vedono isolati, erranti fuor del sistema delle morene sui ghiacciai delle Alpi, in luogo di sdrucciolare lungo il fianco del monte, ne precipitarono a salti, rimanendo così sbrancati, per

(1) Vedi sopra a pag. 17 e 23.

andar poi a posarsi in un luogo qualunque dove li porti la loro indole di vagabondaggio. Il masso di Perledo è certamente una tavola dell' antico ghiacciajo del lago di Como. Agli sbocchi dell' antico ghiacciajo, tanto verso Como quanto al disotto di Lecco verso il M. Canto, il ghiandone, benchè assai scarso, si trova anche sulle sponde opposte a quelle, ove si trova esclusivamente in tutto il decorso a monte. Ma sappiamo che assai più facile è la mistura degli elementi nelle morene frontali, formate dalla confluenza delle laterali. Qualunque eccezione, infine, non scema la grandiosità di un fatto, che basta ad atterrare qualunque teoria, in fuori della glaciale. Milioni di opere edilizie in Lombardia sono di serizzo ghiandone; e tutto quel ghiandone è tolto da massi erratici; e tutti quei massi erratici si trovano sui monti tra Como e Lecco in corrispondenza colla morena mediana che ve li doveva condurre, supposto che un giorno i ghiacciai della Valtellina e della valle del Liro siano discesi a formare un solo grande ghiacciajo, che occupò tutto il lago di Como.

Il sig. Omboni pubblicò pregevolissime carte del terreno glaciale lombardo, tra le altre una in cui la distribuzione delle rocce è graficamente descritta.

V.

DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI ANTICHI SISTEMI DI GHIACCIAI DELLE ALPI ITALIANE E SPECIALMENTE DEGLI ANFITEATRI MORENICI

Esposte sommariamente le prove dell'esistenza e dello sviluppo degli antichi ghiacciai nelle Alpi e in tutta l'Italia subalpina, giova ora prendere più esatta cognizione dei singoli sistemi, studiandone partitamente la storia, colle particolarità che presenta ciascuno nei monumenti che ci rimasero della loro invasione. Ci sarà dato così di raccogliere il maggior numero di dati possibili per formarci un concetto più pieno di un'epoca, la quale interessa non soltanto per la grandiosità del fenomeno che la caratterizza, ma per tutte le circostanze che si riferiscono alla orografia, alla idrografia, al clima, alle piante, agli animali, insomma alle condizioni speciali in cui trovossi l'Italia in quei tempi.

Quel complesso di grandi ghiacciai, che quasi un solo ghiacciajo, si dilagarono giù dai fianchi delle Alpi, mettendo tante foci nella pianura o nel mare, quante sono le valli alpine principali, può dividersi in altrettanti sistemi, quanti sono i sistemi dei ghiacchiai attuali, trovandosi con questi in corrispondenza di numero, di topografia e di forme, quanto il consente il relativo sviluppo. Gli antichi ghiacciai sono, come si è detto, gli attuali, ma più sviluppati d'assai. Possiamo dunque distinguere gli antichi sistemi glaciali, come i moderni, in *primarî* e *secondarî*. Quanto ai *moderni sistemi principali* li abbiamo distinti ed enumerati nel Cap. III. Ripetiamo dunque la stessa enumerazione per gli antichi, osservando poi come ciascuno di essi siasi sviluppato nell'epoca glaciale, quale via abbia dovuto battere per avanzarsi e ritirarsi, e quali monumenti abbia lasciati della sua lunga invasione. Tra questi monumenti la maggiore importanza va indubbiamente assegnata agli *anfiteatri morenici*. Son essi la più grande, la più caratteristica creazione dell'epoca; son essi che portarono la più sentita modificazione al rilievo della regione subalpina e costituiscono attualmente il tratto principale del paesaggio morenico. Per sventura non tutti i sistemi degli antichi ghiacciai alpini furono oggetto di sufficienti osservazioni nei loro particolari. Di alcuni anzi questi s'ignorano quasi affatto. Non potremo dunque accordare a tutti lo stesso trattamento, potendoci bastare poche linee per alcuni, mentre per altri parecchie pagine non potranno essere sufficienti. Speriamo tuttavia che il lettore possa alla fine formarsi un concetto adeguato di questo grande fenomeno, a cui l'alta Italia deve tanta parte di sè.

Numerando gli antichi sistemi dei ghiacciai alpini principali o primarî nello stesso ordine e sotto lo stesso nome dei sistemi moderni essi ci si presentano da ovest a est così:

1. Antico sistema glaciale della Dora Riparia:
2. " " " della Dora Baltea:
3. " " " del Ticino o del lago Maggiore:
4. " " " dell'Adda o del lago di Como:
5. " " " dell'Oglio o del lago d'Iseo.
6. " " " della Sarca o del lago di Garda:
7. " " " dell'Adige:
8. " " " della Piave.
9. " " " del Tagliamento.

1. Sistema dell'antico ghiacciajo della Dora Riparia.

Abbiamo veduto (1) come la gran valle della Dora Riparia nasce dalla confluenza delle due valli alpine, il *Vallon de Toures* a nord-ovest e il *Vallon de Sautze de Césanne* a sud-ovest, ed è alimentata attualmente da un certo numero di ghiacciai di mediocre importanza, dipendenti dalle vette che ne incoronano l'alto bacino recipiente. Due imponenti ghiacciai dovettero nell'epoca neozoica riempire le due suddette valli, e, come esse, confluendo ad Oulx, formare un solo ghiacciajo, il quale percorse tutta la Riparia, cioè la valle di Susa, fra le Alpi Cozie e le Graje, fino al suo sbocco nell'attuale pianura. L'enorme ghiacciajo dovette presentare allora una configurazione relativamente semplice, e molto somigliante a quella che offre presentemente il celebre ghiacciajo detto *La Mer de glace* (2), che dal M. Bianco discende fino a Chamounix, risultando anch'esso da due grandi ghiacciai confluenti. Questo sviluppo del sistema glaciale della Riparia è affermato dall'enorme anfiteatro morenico al suo sbocco, e lo deve essere del pari da tutti gli accidenti che offre la valle stessa lungo il suo percorso fino alle cime elevate, ove biancheggiano ancora, ultimi residui del ghiacciajo distrutto, le vedrette dei picchi della *Ramière*, della Galambra e della Rocca d'Ambino. Mi ricordo in fatti d'aver notato, percorrendo la Riparia, dal Fréjus fino a S. Ambrogio, quegli accidenti che attestano il passaggio di un ghiacciajo. Per sventura nè tenni alcuna nota dei particolari, nè potei raccoglierne di sufficenti dagli scritti degli autori. Noterò tuttavia quelle schiene di rocce arrotondate nella valletta del *Seguret*, per la quale discende a scaricarsi nella Riparia il Rio della Beaume, che sono descritte dal Gastaldi (3).

Rimarcato invece da tutti i geologi e descritto in più opere è il grande anfiteatro morenico, il quale offre uno dei più belli esemplari di formazioni di questo genere. Io stesso potei ammirarlo dal castello di Rivoli, che sorge precisamente sopra uno dei punti culminanti della porzione orientale di esso. Di là lo si abbraccia tutto per intero, e si distingue principalmente quella metà che forma un vasto semicerchio di colline, che si ripiegano verso la valle, quasi in atto di respingere la corrente, la quale ha dovuto tagliarle di fianco, buttandosi verso il M. Musinetto, primo avamposto laterale delle Alpi sulla sinistra della valle. La *Tavola* X, eseguita sopra un bel disegno fatto espressamente dal Sig. F. Bossoli, celebre pei suoi grandi panorami alpini, varrà a porgere al lettore una chiara idea della forma e dello sviluppo di quella singolare creazione dell'epoca glaciale. Il disegno è preso dalla punta d'Ancoccia, sullo sbocco della Riparia, guardando verso la pianura. Qui si vede benissimo come l'antico ghiacciajo della Riparia,

(1) V. sopra, pag. 38.
(2) V. fig. 3, pag. 17.
(3) *Appunti sulla Memoria del* Sig. G. Geikie, ecc., 1873, pag. 28.

giunto dov'è S. Ambrogio, libero dalle Alpi che gli stringevano i fianchi e lo tenevano incassato nel letto della valle, si espandeva verso l'aperta pianura, spingendo avanti più rapida la fronte, mentre i lati seguivano più tardi. Così progredendo veniva a dare della fronte contro le rupi di Avigliana, che sorgono nel mezzo alla gran valle, dove essa si allarga in forma di V verso il piano. Eccolo obbligato per ciò a dividersi in due rami (1). Un ramo progredisce a sud-est verso Trana, in mezzo alle masse rocciose sporgenti in posto. L'altro ramo invece procede libero verso Rivoli. L'un ramo e l'altro però si arrestarono ben presto, fondendosi in uno, e formando una sola fronte, limitata ad est tutto all'ingiro da una morena frontale, che dovette acquistare un enorme sviluppo, in sè adunando, pel corso di secoli, tutto lo sfasciume alpino, che cadeva mano mano dalle montagne entro cui il ghiacciajo era incassato. Quando ritirossi il ghiacciajo quella morena dovette rimanere in forma di anfiteatro gemello di colline; e vi rimane ancora, salvo il guasto profondo che per molte migliaja d'anni vi menarono le acque pluviali, e i torrentelli che ne solcano i fianchi. Nel ritirarsi però il ghiacciajo lasciava libero tutto il vasto suo letto, protetto dapprima dall'incubo stesso del ghiacciajo contro l'invasione del detrito glaciale, e ora esposto alle incursioni delle acque e delle alluvioni. La Dora, sboccante dal ghiacciajo in ritiro, buttossi sulla sinistra, dove nessuna rupe salda si opponeva alla sua forza erosiva. A destra invece le depressioni del suolo roccioso e quelle che erano determinate per via di sbarramento da parziali morene, raccolsero le acque circumfluenti, trasformandosi in un sistema di paludi e di laghi. I due laghetti di Trana e di Avigliana sono gli ultimi superstiti di un sistema di laghi intermorenici certo assai più ricco in origine. Limitati verso sud-est dalle morene frontali, anzi in seno ad esse, sono obbligati a scaricarsi, con corso di regresso nella Riparia, come avviene nell' interno di tutti gli anfiteatri morenici. A determinare quei bacini lacustri servono però anche, come ho già accennato, le rocce sporgenti in posto, che sorgono talora ignude lungo il loro lido. Come tutti i laghi intermorenici, sono assai poco profondi. Il lago di Trana in fatti, posto più a sud, non ha che una profondità massima di 13 m. e di 26 quello di Avigliana (2). Entrambi poi confinano, o piuttosto si prolungano, con vaste torbiere, le quali rappresentano altrettanti laghi o porzioni di laghi colmati dalla vegetazione palustre.

Quanto ai materiali che compongono l'anfiteatro è inutile il dire che quelle colline constano di un detrito caotico, misto a grandi massi, fra i quali il geologo potrà facilmente distinguere tutte le rocce delle montagne che si levano sui fianchi della gran valle fino alle sue sorgenti. Di particolare nota il Gastaldi (3) che le morene di Rivoli sono sparse, anzi composte di serpentini, anfiboliti, eufotidi, dolomiti, ecc. della Riparia.

La *Tavola* X presenta l'apertura della Riparia fra il M. Musinetto a sinistra e la punta della Colletta a destra. Nel mezzo sorgono i colli rocciosi di Avigliana evidentemente arrotondati dall'antico ghiacciajo. Alla destra di quei colli osservansi il lago di Avigliana, preceduto verso l'interno della valle da vasta torbiera; più in là il laghetto di Trana fiancheggiato anch'esso verso l'esterno, da una torbiera. Fra i due laghi e la punta della Colletta si distendono le colline moreniche, che rispondono al ramo sud-est dell'antico ghiacciajo. Fra le morene e i laghi una regione di altipiani morenici terrazzati dalle acque. Fra le colline di Avigliana e la Dora si allineano le colline di Rivoli, costituenti l'anfiteatro che risponde al ramo nord-est dell'antico ghiacciajo. Esso fu rôso alla sua estremità nord dalla Dora, che si vede di là gettarsi nel piano, che si dilata ad est verso Torino. Sullo sfondo del quadro in lontananza veggonsi le colline di Superga, indi a destra la catena del lontano Apennino, poi in assai maggiore vicinanza le montagne della Cima della Fraschea, sulla destra della Dora, e lontano lontano le Alpi marittime.

(1) Gastaldi, *Sulla riescavazione,* ecc. Atti della Soc. Ital. di Scien. nat. Vol. V, 1863.
(2) Gastaldi, *Scandagli dei laghi del Moncenisio, di Avigliana,* ecc. Torino 1868.
(3) *Frammenti di geologia del Piemonte,* 1861, pag. 4.

2. Sistema dell'antico ghiacciajo della Dora Baltea.

Abbiamo detto (1) che se tutti i ghiacciai, i quali incoronano attualmente il gran bacino idrografico della Dora Baltea, confluissero in uno, occupando il letto di questo principale fra i confluenti del Po, ne risulterebbe un ghiacciajo dell'estensione di oltre 2000 miglia quadrate. Quali grandiosi monumenti della sua esistenza non dovrebbe esso erigere un ghiacciajo così mostruoso? Or bene, questo grandioso avvenimento si è appunto verificato nell'epoca neozoica, e i monumenti della sua invasione si levano sublimi allo sguardo di tutti.

Gioverà richiamare come i grandi ghiacciai che forniscono in oggi alla Dora le sue acque perenni e abbondanti, divisi in sei grandi gruppi, sono anche i più poderosi che vantino i versanti italiani delle Alpi. Una dozzina almeno di grandi ghiacciai confluenti costituivano un sistema complicatissimo, un gran mare di ghiaccio, con seni e diramazioni senza numero, che si dilatava in seno alla Dora, levandosi a grandi altezze. Questo mare di ghiaccio, dotato di un movimento che lo portava da monte a valle, non trovava altro sfogo che l'angusta gola, attraverso alla quale si getta anche oggi il fiume succedaneo. Un enorme torrente di ghiaccio veniva dunque a sfogarsi per la gola d'Ivrea, libero di quindi dilagarsi nella pianura. Il grande ghiacciajo doveva quindi alla sua foce presentare il carattere d'una mirabile unità, come una enorme massa plastica, che esce da un angusto orifizio per dilatarsi in un libero piano. La sua fronte doveva essere mostruosamente dilatata, regolarmente arcuata, e le sue morene frontali dovevano disegnare un anfiteatro modello. È appunto l'anfiteatro d'Ivrea che forma uno dei tratti più caratteristici del paesaggio morenico nell'Italia subalpina; ed è tale la sua grandiosità, la sua bellezza, che, a quanto pare, i geologi, assorbiti nel contemplarla, dimenticarono quasi affatto i meno grandiosi particolari che debbono mettere in chiaro quell'antico sistema glaciale lungo la valle.

I primi, ch'io sappia, a descrivere il grande anfiteatro morenico d'Ivrea furono i Signori C. Martins e B. Gastaldi in una Memoria che data dal 1849 (2). Il Gastaldi ne riparlò più volte, principalmente nella lettera a Mortillet *Sulla escavazione dei bacini lacustri* (3). La *Tavola* XI, eseguita anch'essa sopra un disegno preso espressamente dal Sig. F. Bossoli, sembra non abbia a lasciar nulla a desiderare al lettore, che brami comprendere nel suo complesso, come ne' suoi particolari, questa imponente creazione dell'êra neozoica. La gola per la quale sbocca la Baltea a Ivrea non misura che un chilometro circa di apertura. Al suo sbocco si alza inoltre, quasi in forma di barriera, una catena di colli, composti di durissima diorite. Questi colli veggonsi benissimo, in più serie lineari, spiccarsi dalla montagna detta la Serra, la quale non è altro che l'enorme morena, con cui comincia l'anfiteatro sulla sinistra della Dora. Dalla Serra i colli dioritici, passando sopra Montaldo, giungono a Ivrea. Si ripigliano sulla destra del fiume, formando le eminenze di Vanchette, Fiorano, ecc., e via via fino all'estremità destra dell'anfiteatro, che si appoggia alle montagne rocciose, chè formano il fianco destro della valle. Quelle eminenze di nuda roccia sono meravigliosamente arrotondate, presentando quasi altrettanti emisferi levigati sorgenti dal suolo; dove il superficiale terriccio le protesse dalle secolari intemperie, la roccia appare striata e scanalata; indizio certo che il ghiacciajo della valle d'Aosta ha scavalcato quella barriera, premendola con incubo enorme, proporzionato all'enorme altezza che esso doveva attingere entro l'angusta gola. Scavalcata quella barriera, nulla più si opponeva al suo libero espandimento. Della sua vastissima fronte ci dà misura il colossale anfiteatro, formato quasi tutto d'un pezzo da quella morena, la quale, cominciando colla montagna della Serra ad est, fra Biella e Ivrea, si spinge

(1) V. sopra pag. 30.

(2) *Essai sur les terrains superficiels de la Vallée du Po*, ecc. (Bull. Soc. Géol. T. VII, 1849-1850).

(3) *Atti della Soc. ital. di Sc. nat.*, vol. V. 1867.

verso sud sulla sinistra dell'Elvo a fino Cavaglià, poi, ripiegandosi verso sud-ovest dietro il lago d'Azeglio, giunge a sinistra della Baltea presso Cigliano. Tra Cigliano e Mazzè abbiamo l'arco dell'anfiteatro più sporgente verso sud. Da Mazzè l'anfiteatro si curva verso nord-ovest, e passando per Caluso, S. Giorgio Canavese e Agliè si rovescia sulle montagne che si levano sulla destra della Dora fra Castellamonte ed Ivrea. Chi si trovi ad Ivrea, volgendosi a mezzodì, e girando lo sguardo da levante a ponente, gli parrà di trovarsi entro un immane circo, che gli schiude da ogni parte l'orizzonte, quasi un muraglione semicircolare, che congiunge le montagne sul fianco sinistro della Baltea con quelle sul fianco destro. Quel muraglione è tutto di detrito glaciale; è tutto un ammasso caotico di fanghi, di ciottoli, di massi staccati dal M. Bianco e dalle montagne che se ne dipartono a destra e a sinistra, formando cintura all'enorme bacino della valle d'Aosta. Quelle rocce sono protogeni, micaschisti granatiferi, dioriti, ecc. caratteristici di quelle montagne. La *Tavola* XI mostra benissimo il giro dell'anfiteatro, ossia l'enorme muraglia che si leva fra l'arena interna, dove si svolge la Dora con liberi serpeggiamenti, e il piano esterno che sfuma verso i colli del Monferrato e le colline di Superga. Il piano dell'anfiteatro è poi presentato dalla fig. 28, presa

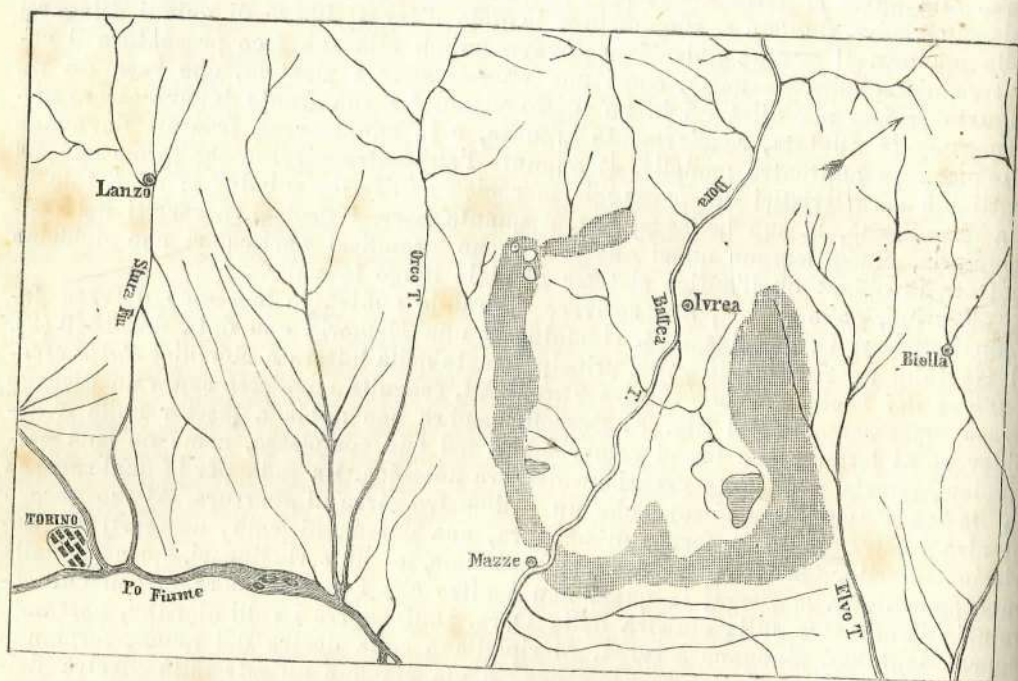



Fig 28. — Schizzo dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea.

dagli studî geologici sulle Alpi occidentali del Gastaldi, dove la parte punteggiata corrisponde alla base della smisurata morena.

L'anfiteatro d'Ivrea è forse il più ricco di laghi intermorenici, o chiusi in seno alle morene, o giacenti nelle sinuosità delle montagne rocciose sbarrate dalle morene. I più vasti sono quelli di Azeglio o di Viverone e di Candia, giacenti veramente in seno alle morene sul fondo dell'anfiteatro. Stanno fra due morene i laghetti di Alice, di Mengliano e di Verpignano, e sembrano laghi di sbarramento morenico il lago di Sirio o di S. Giuseppe, il lago Pastone e quello di S. Michele. Altri laghi intermorenici in gran numero sono scomparsi, sostituiti cioè dalle torbiere che si scavano attivamente entro il bacino davanti ad Ivrea.

3. Sistema dell'antico ghiacciajo del Ticino e del lago Maggiore.

Il sistema del Ticino o del lago Maggiore è ancora più complicato dei due precedenti. Si può tuttavia ridurre anch'esso a termini abbastanza semplici, considerando l'antico ghiacciajo del lago Maggiore come risultante dalla confluenza di due enormi ghiacciai, l'uno più a nord, che chiameremo ghiacciajo del Ticino, ed ha per punto supremo di derivazione il S. Gottardo; l'altro, che chiameremo ghiacciajo della Toce, e dipende, come da punti supremi, dal Sempione e dal M. Rosa. I due grandi ghiacciai erano formati, ciascuno alla loro volta, da parecchi ghiacciai confluenti, ciascuno dei quali supera forse di potenza qualunque più grande ghiacciajo che disceuda attualmente dalle Alpi anche sui versanti settentrionali.

Il ghiacciajo del Ticino nasceva dalla confluenza di tre grandi ghiacciai, corrispondenti alla valle Leventina, alla valle di Blegno, e alla valle Misocco. Il ghiacciajo della Toce raccoglieva più in alto i grandi ghiacciai che discendevano dal Sempione per la val di Vedro da una parte, e dalla valle Formazza, prolungata dalla valle Antigorio, dall'altra; più basso l'enorme ghiacciajo della valle Anzasca, di cui è residuo ancora il grande ghiacciajo di Macugnaga, che in sè raccoglie i sette ghiacciai nutriti dalle nevi perpetue del M. Rosa. Gli stessi due ghiacciai del Ticino e della Toce si riunivano in uno, colmando l'enorme chiusa il cui fondo raccoglie attualmente il lago Maggiore. L'enorme ghiacciajo risultante da tale fusione si avviava verso mezzodì, e passato lo stretto fra Angera ed Arona, era libero di spiegare la sua fronte sui limiti settentrionali dell'attuale pianura. Tutta però quella massa di ghiacci che si versava dalle cime del M. Rosa, del Sempione, del S. Gottardo, del Lukmanier, ecc. arrivava intera allo sbocco, come abbiamo rimarcato pei due grandi ghiacciai della Dora Riparia e della Baltea. Nell'atto però di confluire e prima ancora del punto di confluenza, i due grandi ghiacciai del Ticino e della Toce trovavano sul loro cammino quasi un labirinto di monti e di valli, ed erano per ciò costretti a dividersi in più ghiacciai ciascuno, buttandosi a destra e a sinistra entro i bizzarri meandri. Prescindendo da quell'enorme espandimento, che vedremo delineato da un grande sistema di morene frontali, ossia da un grande anfiteatro morenico composto all'estremità meridionale del lago Maggiore, fra i monti ad ovest di Arona e il lago di Varese, e che può dirsi propriamente la fronte dell'antico ghiacciajo del lago Maggiore, abbiamo altre fronti minori separate, quasi una bizzarra digitazione, che risponde ai molteplici biforcamenti delle valli alpine di questo gran sistema. Un primo ramo del grande ghiacciajo si dirigeva verso il lago di Lugano per la via del M. Ceneri; un altro si staccava più a sud e andava a perdersi nello stesso lago di Lugano per la valle della Tresa; un terzo ramo più in giù, e sempre a sinistra, s'insinuava nella val Ganna, e veniva a fermarsi allo sbocco di questa valle a nord di Varese; un quarto ramo era quello della val Cuvia, che si fondeva col precedente, o ne era piuttosto una derivazione: le montagne fra il M. Ceneri e Luino formavano per ciò una grande isola fra il tronco del ghiacciajo, che occupava il lago Maggiore e i due rami che si staccavano, occupando la depressione del M. Ceneri, il lago di Lugano e la Tresa; un'altr'isola più a sud era formata dalle montagne fra Luino e Laveno, chiusa fra il lago Maggiore, la val Ganna e la val Cuvia; una terza isola assai più piccola era quella dei monti fra Laveno ed Ispra, stante un ramo del ghiacciajo che si insinuava dalla val Sorda a Cittiglio, volgendosi verso Gavirate e il lago di Varese, per completare ad est la fronte del ghiacciajo principale; una quarta isoletta, apparsa però soltanto quando il ghiacciajo era già in ritirata, è quella del M. S. Quirico fra Angera ed Ispra, sorgente nel mezzo del gran mare di ghiaccio. Sulla destra le diramazioni sono meno frequenti, e appartengono, non già propriamente al grande ghiacciajo del lago Maggiore, ma ad uno dei due grandi confluenti, cioè al ghiacciajo della Toce. Giunto questo dove al presente sbocca la Toce nel lago Maggiore, urtava dap-

prima contro il granitico Montorfano, che sorge al presente fra il lago di Margozzo e la Toce, poi tosto contro la massa colossale del M. Monterone. Il ghiacciajo si divideva quindi in tre rami; il primo a nord del Montorfano, che andava a versarsi nel lago Maggiore occupando il lago di Margozzo; il secondo ramo a sud di detto monte, che si riuniva tosto al primo, versandosi con lui nel lago Maggiore pel letto attuale della Toce. Un terzo ramo veramente colossale si insinuava ad ovest del Monterone per la valle della Strona, e, occupato il lago d'Orta, disegnava la sua fronte all'estremità meridionale di esso. Il Monterone formava dunque una grande penisola in mezzo al ghiacciajo, mentre una piccola isola era formata dal Montorfano. Questo complicato sistema fu benissimo descritto e delineato in apposite carte dal prof. Omboni (1), il quale alle sue osservazioni molto particolareggiate aggiunse quelle di Gastaldi e di Zollikofer e di altri.

Gli indizî dell'invasione di un così enorme ghiacciajo, che occupò tutto lo spazio fra le vette supreme del M. Rosa, del Gottardo e i confini settentrionali della pianura lombarda, sono così abbondanti, che dovremo farne una scelta per non creare a questo scritto un ingombro soverchio. Partendo dai confini delle attuali vedrette noi scopriamo ben tosto profondamente impresse le orme di quei ghiacciai, i quali a guisa di mostruosi serpenti, movendo dalle diverse valli, si trovarono un giorno tutti riuniti in quella fossa scavata ai piedi delle Alpi fino alla profondità di più centinaja di metri sotto il livello del mare. Il passo del S. Gottardo, su cui è l'Ospizio, è un altipiano granitico, tutto ad ondeggiature, a monticelli e dossi, perfettamente lisciati e solcati da finissime striature. Tenendo dietro all'andamento di quei finissimi solchi si scopre benissimo, come osserva il Sig. Omboni, che un grande ghiacciajo occupava l'altipiano, discendendo dalle opposte vette che fiancheggiano quel passaggio alpino. Qui il ghiacciajo stesso, formando quasi due torrenti di ghiaccio, si riversava nella valle della Reuss da una parte, e in quella del Ticino dall'altra. Discendendo per questa valle, si trova tosto presso Airolo una morena frontale, che attraversa la valle, ed indica l'ultima sosta dell'antico ghiacciajo, quando si batteva in ritirata, abbandonando la regione da lui occupata per secoli. Tracce di antiche levigature e solcature furono osservate dal Sig. Omboni ovunque, scendendo più in giù, particolarmente presso Chiggiona. Anche sui versanti settentrionali del M. Ceneri sovrastanti al lago Maggiore, dove il ghiacciajo del Ticino trovava come un argine, che lo obbligava a ripiegarsi verso sud entro il lago Maggiore; anche là, dico, il sig. Omboni trovò molte porzioni dei monti rivolte verso il Ticino, che sono arrotondate, e conservano fino alla sommità il liscio e le tracce delle antiche solcature glaciali. Su tutte le rive del lago poi osservò dovunque abbondantissimi i massi erratici. Gli stessi fenomeni si ripetono ovunque rimontando la Toce fino alle sue sorgenti. Io stesso portai una profonda impressione dei segni lasciati dall'antico ghiacciajo, principalmente nella gola elevata della valle Antigorio, che precede ascendendo il pittoresco bacino entro cui si versa la Toce, formando la più bella, come la più possente cascata che si ammiri nelle Alpi. Forse in nessun altro luogo può il geologo ammirare nè più vaste, nè più chiare le impronte d'un antico ghiacciajo. Quando le vedrette del M. Giovio formarono un solo ghiacciajo, che discese per la valle Antigorio a versarsi nel grande ghiacciajo della Toce, esso ghiacciajo, pigiato entro l'immenso strettojo di quella gola, dovette naturalmente reagire con estremo vigore contro le rupi che gli serravano i fianchi. Le ineguaglianze scomparvero sotto la immane lima; ogni punta rimase ottusa. Ora si vedono i fianchi di quella valle formar talora delle pareti verticali, tutte d'un getto, ridotte allo stesso piano, quasi lavorate allo scalpello. Talora invece quelle rupi ondeggiano flessuose, disegnando quasi morbidi cavalloni, o grandi dorsi di montone. Le strofinature, le striature, le scanalature, che percorrono tutte quelle rupi così levigate, parallele alla valle, affermano il passaggio dell'antico ghiacciajo, con quella me-

(1) Omboni, *Sul terreno erratico della Lombardia* (Atti della Soc. ital. di Sc. nat. Vol. II, 1859). — *I ghiacciai antichi o il terreno erratico di Lombardia* (ib. Vol. III, 1861).

desima evidenza colla quale le orme di un piede umano, improntate nella neve o nel fango, ci dicono il passaggio di un uomo. Così dicasi del Sempione, dove il Sig. Omboni osservò i monticoli allungati e arrotondati, che sorgono sotto l'Ospizio, dove la valle si allarga in ampio bacino. Gli stessi fenomeni presenta la valle di Macugnaga, dove il rialzo del Morghen, rupe gigantesca che sbarra il fiume Anza, costretto a gettarsi entro una spaccatura angusta e profonda, presenta le sue sporgenze verso la valle arrotondate, con tracce di corrosioni e solchi impressi dall'antico ghiacciajo.

Gl'indizî di questo gran ramo dell'antico ghiacciajo continuano evidentissimi fino allo sbocco della Toce nel lago Maggiore, cioè fino al punto in cui detto ramo si fondeva coll'altro proveniente dal Ticino, che riempiva tutta la porzione settentrionale del lago Maggiore. Avanti la sua confluenza però il ramo della Toce doveva suddividersi in tre. Urtando dapprima contro il Montorfano formava due rami: uno piccolo a nord, che si insinuava fra il Montorfano, e i monti sulla sinistra della Toce, per la valle occupata attualmente dal lago di Mergozzo: il ramo principale a sud che occupava il letto attuale della Toce. Il Montorfano sorgeva come un'isola in mezzo ai due, almeno prima e dopo il periodo di maggior incremento, in cui probabilmente il ghiacciajo dovette sorpassare la cima di detto monte. Questo secondo ramo principale, torcendosi verso sud-est, per confluire col ghiacciajo del Ticino, trovossi di fronte il Monterone, che divide il lago Maggiore dalla valle della Strona e dal lago d'Orta. Dovette pertanto biforcarsi e, mentre un gran ramo ad est del Monterone confluiva col ghiacciajo del Ticino, un altro ramo, quasi grande del pari, dovette insinuarsi per la valle della Strona, e pigliare il posto che occupano attualmente il fiume e il lago d'Orta. Tutto questo è messo in evidenza, secondo l'Omboni, dalle grandi accumulazioni di massi e di ciottoli, provenienti dalla valle della Toce, che rappresentano, alle basi settentrionali del Montorfano e del Monterone, le *morene d'ostacolo*, le quali dovevano formarsi all'incontro delle due montagne. L'Omboni accenna del pari i massi del noto granito di Baveno, sulla riva orientale o sinistra del lago d'Orta da una parte, e sulla riva occidentale o destra del lago Maggiore dall'altra, in corrispondenza colla morena destra del ghiacciajo principale del lago Maggiore, e colla morena sinistra del ramo secondario del lago d'Orta. Dalla parte del lago Maggiore nota di più il Sig. Gastaldi (1) che la morena destra dell'antico ghiacciajo si leva fino a 700 metri sul livello del lago, ed indica una magnifica area levigata, che si scorge, salendo alle cave di Baveno. Presso Stresa poi rinvenne un masso erratico di forse 2000 metri cubici, e lo nominò *Sasso Martins*, ad onore dell'illustre glacialista (2) di questo nome.

Arrivato dunque il grande ghiacciajo del lago Maggiore a circa $^2/_5$ del lago stesso, cioè entro il largo bacino delle isole Borromee, compariva diviso come in tre grandi rami; il primo a destra che occupava il lago d'Orta; il secondo, principalissimo, nel mezzo, che riempiva la porzione meridionale del lago Maggiore, fondendosi con esso il ramo che dalla Valcuvia procedeva verso il lago di Varese, ed occupando tutta l'area occupata attualmente da esso lago e dal gruppo dei circostanti laghetti; il terzo ramo a sinistra, il minore dei tre, che si dirigeva verso la val Ganna. Questa divisione in tre rami si mantenne fino allo sbocco del ghiacciajo a sud, sui limiti settentrionali della pianura. Il ghiacciajo del lago Maggiore dovette quindi presentare, non una, ma tre fronti distinte, e quindi tre anfiteatri, di cui esistono difatti ancora le grandi morene frontali che

(1) GASTALDI, *Nuove osservazioni*, ecc. negli *Atti dell'Accademia* di Torino, 1866.

(2) Osservai io pure la morena laterale insinuata che fa scarpa alla montagna granitica di Baveno, fino al livello delle cave. I ciottoli più distintamente striati appartengono, come di dovere, alle rocce serpentinose, che si trovano soltanto sui versanti alla Toce. Il granito di Baveno è ovunque stupendamente arrotondato: anzi la montagna granitica forma una catena quasi di grandi dorsi di montone. In riva al lago il granito, messo allo scoperto allora allora, in seguito allo scoscendimento di Feriolo, per supplire al tronco di strada caduto nel lago, apparve, fresco com'era, magnificamente lisciato e striato.

noi passiamo brevemente a descrivere, principalmente sulla scorta del prof. Omboni più volte citato. La *Tavola* XII, che rappresenta la carta dell'anfiteatro morenico del lago Maggiore servirà di guida al lettore.

Cominciando dal ramo a destra, che occupava il lago d'Orta, noi troviamo le morene frontali, costituenti l'anfiteatro alla estremità meridionale del lago. Stando alle carte del Sig. Omboni (1) l'anfiteatro del lago d'Orta consta quasi di due semielissi concentriche, cioè di due cerchie, l'una esterna, la quale più o meno completa gira da S. Maurizio a Pogno, da Pogno a Bolzano, e da Bolzano verso Ameno: una cerchia interna, che si stringe dappresso all'estremità meridionale del lago d'Orta, quasi in atto d'abbracciarla, girando dietro Bissone. I massi che compongono queste morene sono gneis, micaschisti, graniti bianchi; corrispondono in somma alle rocce che si trovano a monte, camminando verso le sorgenti della Toce.

L'anfiteatro, che si alza all'estremità meridionale del lago Maggiore, e che si può considerare veramente come l'anfiteatro del grande ghiacciajo antico di questo nome, ha uno sviluppo enorme, e, così accidentato com'è, richiederebbe molte pagine di descrizione. Ci dispensano tuttavia dai troppi particolari le carte del Sig. Omboni, e la *Tavola* XII che ne riproduce il complesso. Basti il dire che l'anfiteatro morenico del lago Maggiore disegna da prima un cerchio enorme, ripiegato verso il lago, composto di centinaja di colline, le quali a prima vista non mostrano altro che una specie di labirinto intersecato dai torrenti che confluiscono al Ticino. Badando più attentamente però, quel gruppo di colline disegna un vero anfiteatro, composto di molti cerchî concentrici, tutti ripiegati verso il lago, e divisi pel mezzo dal Ticino, che incide profondamente tutto l'anfiteatro, per buttarsi nella pianura, che limita l'anfiteatro stesso verso mezzodì. La cerchia più esterna delle morene, che disegna il maggiore degli archi concentrici, parte a occidente da Ivorio, e spingendosi da nord a sud, passa sopra Talono, Maggiate e Gattico; arriva a Veruno, e, girando verso oriente, a mezzodì di Borgo Ticino. Troncata da questo fiume, che l'ha esportata sopra un area assai vasta, ripiglia al di là del fiume e, diretta verso nord-est, passa a mezzodì di Somma, poi ripiegandosi a nord, raggiunge le alture a mezzodì del lago di Varese. Qui tutto si confonde in un ammasso di enormi cumuli morenici, i quali rivestono i colli, e occupano le valli in fondo alle quali stagnano i piccoli laghi di Comabbio, di Monate, di Bardello e di Varese. Quanto agli altri particolari è meglio, ripeto, che il lettore se ne faccia un'idea, osservando la *Tavola* XII.

È inutile il dire che lo studio di quel vasto anfiteatro ha rivelato al Sig. Omboni, e ancor prima a Zollikofer e De-Filippi, una folla di quei particolari che distinguono sempre e dovunque le formazioni glaciali. Giova fra questi ricordare la grande morena d'ostacolo del monte San Quirico, già descritta (pag. 56, fig. 25 e 26) (2), e il Cavallaccio (pag. 55, fig. 24), che sta per mille e milioni di massi erratici, i quali si trovano dovunque, o sui dorsi delle morene, o sui fianchi delle montagne, o disseminati nelle pianure che rompono o limitano i rilievi dell'anfi-

(1) V. Le memorie *Sul terreno erratico di Lombardia e antichi ghiacciai e terreno erratico di Lombardia.*

(2) Questa morena, e tutto l'anfiteatro del lago Maggiore come gli altri in genere della Lombardia e del Piemonte, sono elevati sopra un sistema di terrazzi alluvio-glaciali, sovrastanti alla pianura. Ne studieremo più tardi la natura e l'origine. Intanto giova notare che, partendo dalla riva del lago a nord del M. S. Quirico, prima di giungere alla morena d'ostacolo, si salgono due terrazzi. La morena stessa è composta di due; che formano anch'essi due rilievi, come due terrazzi ad elevazione diversa. Dalla cerchia morenica emerge nudo il cucuzzolo del M. S. Quirico, che è però stupendamente arrotondato e striato, segno che il ghiacciajo, nel suo massimo sviluppo ha superato anche la cima del monte. Partendo dal lago, che è a 197 metri sopra il livello del mare, abbiamo le seguenti altezze misurate dal defunto Emilio Spreafico col barometro aneroide:

1.° Terrazzo (Inquasso)	11 metri
2.° Terrazzo	57 »
1.ª Morena	108 »
2.ª Morena	137 »
Cima del S. Quirico	202 »

teatro morenico. Come saggio del terreno erratico, rovesciato dovunque nelle valli e sui rilievi fra il lago Maggiore, la pianura e le montagne sopra Varese, si ricordi quella porzione d'un'enorme morena laterale, che riveste le falde dei monti fra Gavirate e Varese già descritta e figurata a pag. 49. I limiti più orientali dell'anfiteatro morenico del lago Maggiore giungono fin presso a Varese, e sono segnati dai cumuli morenici che sorgono fra Varese e il lago del suo nome, lungo la linea percorsa in oggi dalla ferrovia, confinando a mezzodì cogli altipiani morenici e alluvionali, che terminano la pianura. Il sig. Omboni ha fatto diverse osservazioni sulla distribuzione delle rocce, testimonio essa pure dell'origine glaciale di quegli immensi depositi. Nota p. es. che sulla riva occidentale del lago ad Arona sono abbondanti i massi di granito roseo e di granito bianco, provenienti dal Montorfano e da Baveno. Così nelle morene fra Ivorio, Arona e Borgo Ticino. La cosa è naturalissima, mentre quelle morene rispondono in massa alla morena laterale destra dell'antico ghiacciajo, che passava sotto Baveno e Montorfano. A Sesto Calende invece, e ovunque verso la sinistra abbondano le rocce anfiboliche, provenienti dal S. Gottardo, e dalle valli più settentrionali che confluiscono al Ticino. Anche questo è naturale, mentre il sistema delle morene sinistre dell'antico ghiacciajo dovettero risultare dalla confluenza dei ghiacciai più settentrionali, i quali costituivano il gran ramo del Ticino, formante nella porzione più meridionale del lago Maggiore la porzione sinistra del ghiacciajo del lago stesso, mentre l'altro gran ramo, proveniente dalla Toce, ne formava la destra. Diremo poche parole sul ramo terminale sinistro che usciva dalla val Ganna, fermandosi in tempo, per avere una fronte sua propria. La val Ganna è così angusta, e fiancheggiata da montagne sì ripide, che a mala pena vi si potevano arrestare detriti glaciali. Perciò i fianchi di quelle montagne, composti di calcari e di porfidi rossi o neri, si presentano quasi ovunque aridi e nudi. Il glaciale non manca però certamente. Salendo per esempio, dalla val Ganna al Poncione di Ganna, per passare nella valle di Besano, trovasi precisamente sul calle sviluppatissimo il terreno erratico, annidato entro un gran vano sotto il Poncione.

Ma l'antico ghiacciajo, percorsa la valle, sbucando da quella gola angustissima, da cui esce attualmente il torrente ad ovest di Induno, trovavasi libero d'un tratto, e poteva allargare la sua fronte, da una parte verso S. Ambrogio e Velate, e verso Induno e Arcisate dall'altra. Questo territorio appunto fra Arcisate e la Madonna del Monte è tutto un cumulo di morene, buttate sui fianchi o a ridosso delle colline, o ingorgate entro le valli. Esse rappresentano in massa l'anfiteatro, mancante d'ogni regolarità, come sempre avviene, quando la fronte di un ghiacciajo fu costretta a piegarsi alle sinuosità di una regione montuosa, invece di spianarsi nella libera pianura. Ciò che specifica assolutamente quelle morene, è l'estrema abbondanza dei porfidi rossi o neri, detti impropriamente melafiri, che hanno tanto sviluppo nella val Ganna e nelle montagne vicine le quali circondano il lago Maggiore. Anche tutta la pianura che si diparte da quella località è composta di un'alluvione distinta da ogni altra per l'abbondanza di ciottoli di rosso porfido. L'enorme masso erratico di Fraschirolo, già descritto a pag. 55 (fig. 23), è anch'esso un pezzo di quel porfido, appartenente, secondo l'Omboni, a quella varietà nera che impropriamente chiamossi melafiro. Noto come l'anfiteatro della val Ganna si fonde probabilmente ad occidente col grande anfiteatro del lago Maggiore, e ad oriente con quello formato dal ghiacciajo, che usciva dal lago di Lugano. Di questo parleremo in seguito, mentre il ghiacciajo del lago di Lugano non era nudrito, almeno per la massima parte, che da diversi rami staccati dal ghiacciajo del lago Maggiore da una parte, e da quello del lago di Como dall'altra.

Mi sono riserbato di parlare in ultimo di quella specialità che distingue tutte le regioni moreniche, studiata pochissimo finora, ma meritevolissima di esserlo, con grande profitto della scienza, la quale attende il frutto di lunghe indagini ancora, per poter sciogliere quel gran numero di oscuri problemi in cui giace ancora avvolta la storia dell'epoca glaciale. Alludo agli antichi laghi morenici,

ed ai depositi lacustro-glaciali che si vanno mano mano scoprendo. Ragioneremo a suo tempo dell' origine dei grandi laghi, la cui esistenza in Lombardia e altrove sembra così strettamente legata all' esistenza stessa e alla formazione del terreno glaciale. Ci faremo ragione allora di ciò che valse alla creazione del lago Maggiore, come del lago di Mergozzo e del lago d' Orta, i quali non ne sono che dipendenze, anzi porzioni staccate posteriormente all' epoca glaciale. Ci faremo ugualmente ragione dell' esistenza dei laghetti del gruppo di Varese, i quali riempiono il fondo di altrettante depressioni secondarie, già occupate dall' antico ghiacciajo, come il lago Maggiore riempie la massima, già ugualmente occupata dallo stesso ghiacciajo. Qui faremo menzione unicamente dei laghi morenici o glaciali propriamente detti, i quali od occupano le depressioni fra morena e morena, o sono determinati dallo sbarramento delle valli laterali operato dagli antichi ghiacciai. Questi laghi, in genere piccoli e poco profondi, sono per lo più riempiti per tutto o per la massima parte dai depositi lacustro-glaciali e da torbe per quel processo di sedimentazione che ha cominciato nella stessa epoca glaciale, ha continuato dappoi e dura anche al presente. Nell'anfiteatro morenico del lago Maggiore esistono, come in quelli precedentemente descritti, vaste torbiere, le quali rappresentano indubbiamente altrettanti laghi intermorenici prosciugati. La torbiera di Marcurago, p. es., era un lago certamente, mentre si scoprirono in tanta abbondanza le reliquie delle abitazioni lacustri dei popoli preistorici. Chi sa quante altre scoperte di questo genere accresceranno le nostre cognizioni tanto circa l'epoca glaciale, quanto circa l'epoca preistorica. Ma il sistema glaciale del lago Maggiore, così sviluppato in confronto di quello del lago d' Iseo, deve presentare un ben maggior numero di quei laghi di sbarramento, per cui è già riuscito così interessante l' altro sistema. Tanto ci promettono, e in parte già ci mantengono, le belle osservazioni in proposito raccolte e gentilmente comunicatemi dall' Ab. Mercalli, professore di storia naturale nel seminario arcivescovile di Monza. Le riporto qui testualmente.

« Fra Stresa e Belgirate, presso Magognino, a 160 metri sopra il livello del lago, esiste un bacino di oltre 1000 pertiche quadrate di estensione, ripieno di torba, la quale ha nel centro 6 metri di massima profondità. Quel bacino, tutto chiuso all'ingiro, rappresenta indubbiamente un laghetto glaciale, determinato da sbarramento operato dalla morena destra dell' antico ghiacciajo del lago Maggiore. Quel bacino infatti non è fondamentalmente che una valle scavata nel micaschisto, e aperta alle due estremità, cioè a nord-ovest verso Stresa, e a sud-est verso Belgirate. L'antico ghiacciajo, sbarrando l' uno e l'altro sbocco, trasformò la valle in bacino. Il canale artificiale, scavato per dar sfogo alle acque della torbiera all'estremità sud-est, ha messo in evidenza la morena che serve di sbarra, incidendola profondamente. I massi morenici del resto, partendo dal livello della morena, ricoprono tutto il fianco della montagna fino al lago. Vi si distinguono ciottoli anfibolici, di gneis, di granito rosso e bianco. »

« In condizioni affatto somiglianti a quelle del bacino prosciugato di Magognino si trova il Delio, ameno laghetto sulle montagne di Macagno, a 600 metri sopra il livello del Lago Maggiore. Anch' esso occupa il fondo di una valle, la quale si apriva originariamente tanto a nord verso la valle Molinera, quanto a sud verso la valle Vedasca. I due sbocchi furono sbarrati dalla morena sinistra dell' antico ghiacciajo, e la valle divenne un lago ancora persistente.

« Vi ha poi un terzo bacino, ancora sulla destra del Lago Maggiore, ma superiormente allo sbocco della Toce, cioè fra Intra e Oggebbio, in eguali condizioni dei due descritti, quantunque più piccolo, e ad un' altezza poco minore di 600 metri. Anche quel bacino, sbarrato dalla morena, è convertito in torbiera. »

Nota poi il sig. Mercalli che in quei luoghi l' antico ghiacciajo si è elevato 700 metri almeno sul livello del Lago Maggiore. Sul fianco del monte Cuirolo la morena destra dell' antico ghiacciajo ha uno sviluppo veramente meraviglioso. Vi abbondano massi erratici voluminosi, uno dei quali, composto di schisto anfibolico,

misura circa 13 metri di lunghezza, su 4 a 5 di larghezza e di altezza. Si trova nel Comune di Vignone, sulla via che mette alla parrocchiale di S. Martino.

4. Sistema dell'antico ghiacciajo dell'Adda o del lago di Como.

Abbiamo veduto come il grande bacino che dovette dar luogo all'antico ghiacciajo dell'Adda o del lago di Como è fondamentalmente diviso in due; il primo a nord, che comprende tutti i confluenti alla valle della Mera; il secondo ad est che riceve attualmente tutti i confluenti alla valle dell'Adda. Ambedue i bacini sono anche attualmente ricchi di ghiacciai, divisi in gruppi da noi numerati recentemente (1). Tutti quei ghiacciai usciti un giorno dai loro attuali recessi confluirono nelle rispettive valli, formando due ghiacciai enormi, i quali occuparono rispettivamente la valle della Mera o di Chiavenna a nord, e la valle dell'Adda o Valtellina a est. Riempite le due valli, i ghiacciai si trovarono entrambi alla punta sud-ovest di quel grande colosso che è la Spluga meridionale, cioè di quel gran gruppo di monti che divide le due valli, e precisamente dove si distende il delta lacustre dell'Adda, che si chiama attualmente *Piano di Colico*. I due ghiacciai si fusero in uno, che buttossi nel lago di Como, colmandolo interamente, levandosi all'altezza di 700 metri almeno sopra il suo livello, e diramandosi ovunque a destra e a sinistra nelle valli laterali. Prima di giungere alla punta di Bellagio, dove attualmente il lago si divide in due rami, continuando verso Como da una parte, e verso Lecco dall'altra, il grande ghiacciajo incontrava, tanto a destra come a sinistra, una gran valle depressa. A destra la Val Menaggio, per cui un ramo del ghiacciajo andava a perdersi nel bacino del lago di Lugano; a sinistra la Valsassina, dove un altro ramo insinuossi, arrestandosi, nel periodo degli anfiteatri morenici alle basi delle Grigne fra Barzio, Cremeno e Pasturo. Alla punta di Bellagio, dove il monte S. Primo gli opponeva un ostacolo insormontabile, il ghiacciajo si divise di nuovo in due, rivolgendosi da una parte verso Como a sud-ovest, dall'altra verso Lecco a sud-est.

Il ramo di Como passò sopra il luogo occupato ora dalla città, fra il monte Olimpino ad ovest, e il monte Goi col Montorfano a est, spingendosi nella valle della Brengia da una parte e nella valle della Troggia dall'altra; poi, uscito da quello strettojo, prese il largo, distendendo la sua fronte ad arco verso l'attuale pianura fra Appiano ed Alzate. Il ramo di Lecco invece, pigiato fra il S. Primo e le Grigne, trovò un primo sbocco sulla destra, e formò un ramo, il quale, insinuandosi per la Vallassina, gettossi nella valle del Lambro, invadendo tutta la regione della Val Sorda e dei laghetti d'Alserio e di Pugliano. Giunto a Lecco, dilatandosi in quel bacino, allora così vasto, riempiva da una parte quella specie di grande anfiteatro occupato ora dal territorio, fra il S. Martino, il Montalbano, il Resegone e l'Albenza, insinuandosi per di più sopra Ballabio nella Vallassina fino alla stretta gola di Balisio. In direzione diametralmente opposta il ghiacciajo insinuavasi poi a destra per la valle Ritorta, fra i Corni di Canzo e il monte Baro, formando un ramo che, colmato il lago di Annone, si congiungeva col ramo del Lambro che riempiva il lago di Pusiano. Il tronco principale però continuava la sua via verso mezzodì, occupando il lago a sud-est di Lecco, fra l'Albenza e i colli della Brianza, che si dipartono dal monte Baro. Seguendo poi il corso dell'Adda, e allargandosi mano mano che si allargava la valle, spiegò la sua fronte orientale, arrestandosi contro il monte Canto, e sui colli di Imbersago; avanzandosi fino ai limiti degli attuali altipiani che limitano la pianura a Verderio e Merate, insinuandosi poi ad occidente, alle basi del colle di Montevecchia, in modo di riunirsi a formare un solo anfiteatro irregolarissimo cogli altri rami della Val Ritorta e della valle del Lambro a ridosso delle colline della Brianza. Dalla parte d'oriente dunque il ghiacciajo presentava quasi un mare di ghiaccio, da cui emergevano, in figura di grandi isole, le cime dei nostri monti. L'isola più a nord era formata

(1) Vedi sopra a pag. 40-41.

dalle montagne fra il lago di Lecco e la Vallassina, limitata verso sud-est da un ramo secondario, che insinuandosi per la val Brona, si riuniva al ramo principale del ghiacciajo che scendeva per la valle del Lambro. Quest'isola, disegnata nella *Carta dei ghiacciai delle Alpi lombarde*, pubblicata dall' Omboni, scomparì certamente quando il ghiacciajo attinse il suo massimo sviluppo. Una seconda isola più a sud, che rimase scoperta anche quando il ghiacciajo era al suo massimo, ed era certamente assai considerevole nel periodo degli anfiteatri, era formata dalle cime attuali dei Corni di Canzo, e delle montagne dipendenti. Una terza isola era quella del monte Baro, senza contare altre più piccole, costituite dalla cima di Montevecchia e da altre della Brianza. Fra il mare di ghiaccio ad est, e il ghiacciajo del ramo di Como ad ovest sorgeva la grande isola del S. Primo, prolungandosi verso sud-ovest fino a Como. Sulla sponda occidentale del ramo di Como sorgevano poi in forma di isola il monte Galbiga, e le altre montagne fra Menaggio e Argegno. Quest' isola era determinata dal ramo che si spiccava dal grande ghiacciajo verso il lago di Lugano per la valle di Menaggio, e da un altro ramo, non accennato precedentemente, che si dirigeva anch'esso verso il lago di Lugano per la Val d' Intelvi. Per ciò che riguarda i grandi tratti dell' antico ghiacciajo dell' Adda o del lago di Como fin qui descritti è da considerarsi come ottima la *Carta* citata dell' Omboni, che correda la sua memoria che porta per titolo: *I ghiacciai antichi e il terreno erratico di Lombardia* (1).

Venendo ora ai particolari, ci troveremo imbarazzati dall' abbondanza, piuttosto che dalla povertà delle notizie. Il terreno erratico del lago di Como e delle sue circostanze è quello che ha forse pel primo colpito profondamente i geologi, assai prima che si parlasse di ghiacciai o d' epoca glaciale. Il *Manuale* del La Bêche è pieno delle meraviglie che l'illustre geologo ebbe ad osservare egli stesso. Vi sono descritti quei nuclei enormi di massi accatastati, rovesciati sui fianchi del S. Primo quasi avanzi della favolosa battaglia dei giganti. Egli sospettò, come altri dopo di lui, che quei massi fossero stati abbandonati sulle nostre montagne dai ghiacci galleggianti, quando il mare ricopriva ancora quasi tutta l'Europa. Vennero poi le ipotesi dei grandi cataclismi alluvionali, delle emersioni di rocce alpine, delle eruzioni vulcaniche, per spiegare l'esistenza così problematica di quei massi enormi di serpentini e di graniti alpini, i quali, staccandosi dalle Alpi, non avrebbero potuto venire a collocarsi sul S. Primo che sorvolando gli abissi del lago di Como ad un' elevazione di ben 700 metri sopra il livello attuale del lago stesso. Dopo il La Bêche, il Collegno, il Curioni, ecc., che parlarono nel senso delle vecchie ipotesi, e dopo i fratelli Villa che ritengo furono i primi ad accennare la teorica glaciale, e l'Omboni e lo Zollikofer che le diedero una così sicura applicazione, non vi fu geologo al mondo che, parlando degli antichi ghiacciai non abbia fatto una larga parte al terreno erratico del lago di Como. Fu questo terreno che mi offrì esempî così parlanti per svolgere la teorica glaciale nelle mie *Note a un corso di Geologia*, pubblicate nel 1864, e più tardi nel mio *Corso di Geologia*. Parecchi di tali esempî furono del resto già citati nel presente volume nel Cap. IV, che tratta degl' indizî generali dell'antico sviluppo dei ghiacciai alpini. Il tutto si riduce sostanzialmente a questo, che i ghiacciai alpini occuparono tutto il bacino confluente al lago di Como e tutto il lago stesso, spingendosi riuniti, poi divisi in più rami fin verso i confini dell'attuale pianura fino a poca distanza da Bergamo, Monza e Varese. Questo nel periodo degli anfiteatri, il quale succedette come vedremo più tardi, ad un periodo di assai maggiore sviluppo, in cui i ghiacciai occuparono certamente tutta o almeno la massima parte dell' area compresa fra l' Apennino e le Alpi, dove si distende l' attuale pianura. Solo una carta geologica può supplire a un grosso volume, che non potrebbe risparmiarsi ai lettori, quando si volessero descrivere i particolari di quella grande invasione, e i monumenti che ne rimasero, anche restringendoci entro i limiti dell' espansione dell' antico ghiacciajo del lago di Como. Accontentiamoci per ora

(1) *Atti della Società italiana di scienze naturali*, Vol. III, 1861.

di passare in rassegna i fatti più saglienti, percorrendo dalle Alpi alla pianura la regione invasa.

Per la regione più elevata del sistema che stiamo descrivendo nulla si può desiderare di meglio di quanto ci offre la carta dell' alta Engadina e delle valli circostanti pubblicata recentemente dallo Ziegler (1). Essa comprende, per la parte ad ovest la valle Bregaglia fino a Castesegna, e per la parte ad est tutto il grande bacino dell'Adda dallo Stelvio fino a Tirano. Mediante i segni convenzionali, che indicano le morene ancora esistenti e la dispersione dei massi erratici, noi possiamo seguire passo passo gli antichi ghiacciai tanto nel loro avanzamento, quanto nel loro regresso. Cominciando dal grande ghiacciajo della Mera, lo si vede prendere le mosse dal Passo della Maloggia, e scendere giù giù per la valle Bregaglia, tutta fiancheggiata o intersecata da vecchie morene laterali e frontali. Quel ghiacciajo giungeva a Chiavenna, e riunendosi all'altro non men vasto ghiacciajo proveniente dallo Spluga ossia dalla Val S. Giacomo, si gettava nella valle della Mera, discendendo fino al limite settentrionale del lago di Como, dove s'incontrava col grande ghiacchiajo proveniente dalla Valtellina. Lo dicono ad esuberanza le morene sulle sponde occidentali del lago di Como, dove abbondano singolarmente le rocce amfiboliche, e principalmente i graniti verdi, i quali attestano probabilmente che il ghiacciajo della Mera era parzialmente alimentato dai ghiacci dipendenti dalle montagne dell'Engadina.

Quanto al ghiacciajo della Valtellina, la carta dello Ziegler ne comprende una porzione assai più vasta, ed è ricchissima di particolari. Veggonsi anzi tutto delineati da morene conservatissime i ghiacciai che dallo Stelvio, dalla valle di Fraele e dalla valle Viola venivano a riunirsi entro il vasto bacino di Bormio. In seno a quelle montagne, compresevi anche quelle della valle del Frodolfo, vidi io stesso così sviluppato il sistema glaciale da dover rinunziare a descriverne i particolari. Osservai, per es., salendo allo Stelvio, la via dalla quarta cantoniera al giogo serpeggiare fra dossi arrotondati di durissima quarzite. La striatura parallela e il liscio di quei dorsi sono veramente meravigliosi. La valle di Fraele è tutta sparsa di detrito morenico, ed è desso che crea in seno a quelle montagne calcaree assolutamente ignude il piccolo ma ridente territorio di S. Giacomo. Enorme è pure lo sviluppo morenico nella val Viola, ed è molto probabile che da quella parte i ghiacciai dei versanti dell'Adda si riunissero con quelli dei versanti dell'Inn. Nella val Furva, che termina coi ghiacciai della Gavia, nella valle del Zebrù, coronata pur essa da un gruppo di ghiacciai, nella val di Rezzo, e ovunque alle basi del M. Sobretta e del Pizzo Tressero, gli avanzi di antiche morene, i massi erratici e gli arrotondamenti glaciali mostrano, come tutta l'alta Valtellina non fosse che un gran mare di ghiaccio, il quale si sfogava per la stretta gola a sud di Bormio, formando un ghiacciajo enorme che, ingrossato da mille confluenti, veniva finalmente a congiungersi col ghiacciajo della Mera, nel piano di Colico. La carta dello Ziegler accompagna questa discesa, mentre ne segna tanti periodi di regresso e di sosta con una serie di morene frontali scaglionate lungo l' Adda. Dopo le morene frontali, magnificamente sviluppate nel bacino di Bormio, trovasene una, da me pure osservata, nelle vicinanze di Morignone allo sbocco della valle Presura, dipendente dal M. Sobretta. Più basso altra morena allo sbocco della valle di Rezzo. Più basso ancora osservai un' enorme morena che si attraversa all' Adda nelle vicinanze di Bolladore. La porzione più conservata forma un' accumulazione imponente di detrito glaciale sulla destra dell'Adda a sud-ovest di Sondalo. Giunto il ghiacciajo a Tirano, doveva trovarsi d'un tratto quasi raddoppiato di mole dal grande confluente che proveniva dai ghiacciai della Bernina, che riempivano la valle di Poschiavo e sboccavano riuniti a Tirano. La carta dello Ziegler mostra anche per questo confluente sviluppatissime le morene laterali e frontali. Lo stesso lago di Poschiavo è sbarrato verso sud-est da una grande morena frontale, a cui deve certamente,

(1) I. M. Ziegler, *Karte des Ober-Engadin und des Bernina-Gebirges*. ecc, Winterthur.

come tanti altri laghi glaciali, la sua origine. Da Tirano a Sondrio, da Sondrio a Morbegno, da Morbegno a Colico i fianchi delle montagne, le valli a destra e a sinistra non sono che un caos di massi erratici, di morene e di informi accumulamenti di detrito glaciale, il quale fertilizza ovunque quelle montagne del resto sterili e ignude. Lo sviluppo del terreno glaciale lo osservai principalmente sulla sinistra nella valle del Bitto, per cui confluivano al ghiacciaio dell'Adda quelli dipendenti dal Pizzo dei tre Signori. I massi colossali e l'abbondante detrito, le scanalature, i lisci, gli arrotondamenti delle rupi, presentano qualche cosa di veramente spettacoloso a chi discende da Gerola a Morbegno. Ma non vi ha nulla che superi maggiormente l'imaginazione di quanto si osserva sulla destra, ascendendo per la valle del Masino, che ci conduce nel cuore di quella massa smisurata di granito, da cui si staccarono a migliaja, a milioni i massi di granito porfiroide (*serizzo ghiandone*), che il ghiacciajo ha quindi portato sui fianchi del M. S. Primo, dei Corni di Canzo, e dispersi per tutta la Brianza fino ai confini dell'attuale pianura. Il granito del Masino, fendendosi facilmente per naturale clivaggio, è quello certamente che ha fornito al ghiacciajo del lago di Como il maggior contingente di grossi erratici: è là che si comprende come abbiano potuto gli antichi ghiacciai edificare vere montagne di detrito ai rispettivi sbocchi nelle attuali pianure. Anche adesso quelle montagne granitiche si sfasciano tutte sotto l'azione del gelo. Tutta la valle del Masino è per ciò ingombra di massi accatastati l'uno su l'altro, d'enormi dimensioni. Quello, per es., che si presenta isolato nel fondo della valle, obbligando la via a una curva considerevole poco prima di giungere a S. Martino, vanta sicuramente parecchi milioni di metri cubici. Il ghiacciajo dell'Adda doveva essere dunque tutto un cumulo di massi, tutto una morena, quando giungeva alle attuali foci dell'Adda, dove, congiunto col ghiacciajo della Mera, ripiegavasi verso mezzodì colmando il lago di Como. I colli di micaschisto, che sorgono dal piano di Colico, coronati dalle rovine del forte di Fuentes, mostrano ancora coi loro tondeggiamenti l'azione erosiva esercitata in quel punto dall'immenso ghiacciajo. Una morena mediana, la più enorme di tutte, doveva nascere in quel punto dalla confluenza dei due grandi ghiacciai della Mera e dell'Adda. Tenendo il mezzo del ghiacciajo, camminando con esso, e ingrossandosi ad ogni passo, doveva mostrare a nudo, in mezzo a uno sfasciume infinitamente multiforme, quei massi potenti e innumerevoli di serizzo ghiandone e di serpentini, dei quali vediamo ora sparse tutte le montagne fra i due laghi di Como e di Lecco. Così il ghiacciajo colmava l'abisso, ora riempito dal Lario, e si levava forse un migliajo di metri sopra l'attuale livello del lago, appoggiando l'uno e l'altro fianco alle opposte montagne che lo fiancheggiano. Lo attestano su l'una e su l'altra sponda le basi delle stesse montagne arrotondate e lisciate fino a grande altezza, poi rivestite, quando il ghiacciajo ritirossi, di massi erratici e di detrito ora converso in fertile terriccio. Al tempo stesso il ghiacciajo si insinuava nelle valli laterali. Sulla destra la valle del Liro sopra Gravedona e quella di Dongo sono colme letteralmente di terreno glaciale, profondamente inciso dai torrenti, ed è questo detrito che nutre al basso i campi e le vigne, più in alto i boschi e, nelle regioni più elevate, i prati che si spingono fin verso le alture ignude che separano il lago di Como dalle valli di Misocco e dell'Agno. Più in giù, sempre nella destra, il ghiacciajo incontrava la valle di Menaggio assai bassa e aperta direttamente verso il lago di Lugano. Quella valle è colma anch'essa di detrito glaciale, inciso dal torrente Magra fino al livello del lago. Per quella valle dunque staccavasi un ramo del ghiacciajo del lago di Como, il quale andava a colmare, cogli altri provenienti dal ghiacciajo del lago Maggiore (1), il lago di Lugano.

Sulla sinistra il ghiacciajo del lago di Como trovava altre valli da riempire. Dapprima la valle del Varrone, arrotondando, poi ricoprendo di fertile detrito i greppi d'Introzzo, di Tremenico e Pagnona, terminando entro il bacino sotto

(1) Vedi sopra a pag. 69.

Premana, che accolse un cumulo immenso di detrito, ora coperto dai prati e dai castagneti del Piazzo, che s'incontrano sulla via da Casargo a Pagnona. Più basso si apriva, allora tutta ignuda, la valle della Pioverna, ossia la Valsassina. Un ramo del ghiacciajo, insinuandovisi, la colmava fino a grande altezza. I campi, le vigne, i castagneti sopra Bellano, fino a Muggiasca e Parlasco, traggono alimento dal detrito glaciale. Un cumulo enorme dello stesso detrito riempie la valle da Taceno a Margno e da Margno a Casargo. Ma qui non arrestossi quel ramo di ghiacciajo, che, passando per la Chiusa d'Introbbio, ora fiancheggiata da maravigliosi dorsi arrotondati, composti di puddinga rossa quarzosa, si dilatava nel bacino di Pasturo e Barzio, edificando una magnifica morena frontale. Essa mostrasi ancora quasi intera, ed è quel cumulo erboso e boscoso, inciso profondamente da ruscelli e torrenti, buttato ai piedi dei monti Aralalta, Resegone e Grigna, che formano come un anfiteatro interno, in seno al quale sono sparse le terre feraci di Barzio, Cremeno, Moggio e Pasturo.

Ritornando al tronco da cui spiccavansi i rami descritti, lo troviamo già presso alla punta di Bellagio. Esso la investe, ed è obbligato perciò a dividersi in due rami, continuando per l'uno a sud-ovest verso Como, per l'altro a sud-est verso Lecco. La morena mediana diviene, contro il S. Primo, morena d'ostacolo, e i massi di serizzo-ghiandone o di serpentino, provenienti dalle montagne che si levano fra la valle della Mera e quella dell'Adda, scavalcata sul dorso del ghiacciajo tutta la parte settentrionale del lago di Como, vengono a trovar posto sulle montagne fra i due rami di Como e di Lecco.

Il ghiacciajo che percorre il ramo di Como, strizzato fra montagne a picco, si insinua a destra e a sinistra dove trovi un seno od una valle. Riempie dapprima sulla destra il golfo tra la punta della Majolica e la penisola di Campo. La morena insinuata alle falde orientali del M. Galbiga è quella per cui oggi sorride, tutta giardini, la Tremezzina. Dietro la penisola di Campo ad occidente, arrotondata dal ghiacciajo come la vicina isola di S. Giovanni, si scorge un' enorme deposito di sabbie stratificate e di ciottoli calcarei angolosi. Quel deposito, inciso profondamente dal torrente che scorre sotto alla Madonna del Soccorso, è il riempimento di un antico lago glaciale, dove veniva a perdersi il torrente stesso trascinandovi lo sfasciume calcareo del M. Galbiga. Continuando verso Como si trova, ancora sulla destra, la valle d'Intelvi. Nel periodo di massimo incremento il ghiacciajo del lago di Como, insinuandosi in detta valle, dovette superare il calle di S. Fedele, e gettarsi anche per di là nel lago di Lugano. Ma nel periodo di minore incremento la valle d'Intelvi fu semplicemente riempita di ghiaccio. Il terreno morenico vi attinge di fatti uno sviluppo enorme, fino a non molta distanza dalla cima del M. Generoso. Passata la valle d'Intelvi s'incontra, ancora sulla destra, la valle della Brengia, che sbocca presso Cernobbio. Il torrente è profondamente incassato nel detrito glaciale, che occupa tutta la valle fino all'altezza di Chiasso, per dove certamente il ghiacciajo del lago di Como andava a riunirsi una terza volta con quello del lago di Lugano. In quel detrito morenico predominano i massi calcari striati, provenienti dalle vicine montagne calcaree. Vi sono però comuni i massi di serpentino e di sienite, nè vi mancano, benchè radi, i grossi massi di serizzo-ghiandone.

Sulla sinistra del lago di Como non vi ha nessun sbocco, per cui il ghiacciajo potesse deviare. Vi hanno però molte valli laterali a fondo cieco, in seno alle quali il ghiacciajo potesse insinuarsi. Così sui fianchi di quelle montagne, in seno alle valli, sugli altipiani elevati di 700 metri sopra il livello del lago, si dispiega in tutta la sua potenza quel terreno erratico, composto di grossi massi, sparsivi a migliaja e migliaja, in tutte le condizioni possibili di equilibrio, che hanno così profondamente colpito il La Bêche e gli altri geologi, che non sapevano poi determinarne l'origine. Per la valle del Perlo si insinuava dapprima il ghiacciajo, riempiendo il vasto bacino fra il M. S. Primo e le montagne che fiancheggiano a occidente il lago di Lecco. Si può ritenere per certo che il ghiacciajo nel suo maggiore sviluppo, soverchiando le alture di Barni e Magreglio, si buttasse nella Vallassina,

Un' altra valle, che termina in alto in un altro vasto bacino fra il S. Primo e i monti di Careno e della Vallassina, è la valle di Nesso. Essa fu colmata di terreno glaciale, che forma la ricchezza dei montani villaggi di Veleso, di Erno e di Zelbio. Il Pian del Tivano, che si trova sopra i nominati paeselli, ha tutta la forma di un lago, sbarrato a valle dalla morena insinuata. E un lago sarebbe veramente, se le acque non trovassero scolo per quella caverna verticale, chiamata il *Buco della Nicolina*, che si sprofonda in mezzo al piano. Un altro bacino e un altro accumulamento di terreno glaciale troviamo più in giù, ed è quello onde è ricco il territorio di Pognana, Pallanza, Molina e Torno.

Così il ghiacciajo giunse a Como, colmando tutto l'anfiteatro dalla cui arena in riva al lago sorge la città, e sorpassando la catena del M. Olimpino, il Baradello e il M. Goi, per distendere verso l'attuale pianura il suo anfiteatro morenico. Tutte quelle cime formano dei grandi dorsi di montone; e noi abbiamo già veduto come siano erosi e striati i grossi ciottoli di cui si compone la puddinga miocenica fra Como e Camerlata (1).

Il ramo orientale, o ramo di Lecco, discendeva del pari, colmando il lago di Lecco e insinuandosi nelle valli laterali. La valle principale che s'incontra dapprima sulla sinistra, è la così detta valle di Esino, che sbocca a Varenna nel lago. La porzione più bassa venne dal ghiacciajo convertita nel fertile territorio di Perledo. Ma qui non arrestossi il ghiacciajo, che, insinuandosi nella gola sopra Perledo, invase l'alto bacino di Esino, dove il detrito glaciale presenta un sì grande sviluppo. La morena insinuata termina ai limiti occidentali del piano di Cainallo, circa 1000 metri sopra il livello del lago (2), che presenta la forma come di un lago di sbarramento. Ma nel suo maggiore sviluppo il ghiacciajo si spinse assai più in sù, superando il passo dei Prati d'Agueglio, fra la cima di S. Defendente e quella di Sasso Mattolino, per cui il ramo di Esino si riuniva con quello della Valsassina. Il passo dei Prati di Agueglio è arrotondato, come lo sono i dorsi della montagna fin presso la cima tutta rupestre di S. Defendente. È a Perledo che io trovai quell'unico masso di serizzo ghiandone che siami finora riuscito d'incontrare sulle sponde orientali del lago di Lecco, mentre abbiamo visto che i massi di serizzo ghiandone, venuti colla morena mediana fino a Bellagio, dovevano poi dividersi unicamente fra le sponde occidentali del ramo di Lecco e le orientali del ramo di Como, dove si incontrano di fatti a migliaja e milioni. Il masso di Perledo sarebbe dunque una di quelle *tavole del ghiacciajo*, di cui parlammo a pag. 17, uno di quei massi sbrancati dalle morene, che, condotti dal loro umore di vagabondaggio, vanno a posare dove che sia, senza riguardo alla distribuzione per altro così rigorosa del detrito glaciale. Un altro di questi massi mi si direbbe trovato a Bellano.

Un' altra valle considerevole o piuttosto un gran seno ad anfiteatro si apre più in giù sulla sinistra, fra il M. Croce e le due Grigne. Il fertile territorio di Olcio, Somana e Mandello rappresenta l'accumulamento glaciale che riempiva tutto quel vasto seno.

Sulla destra il ghiacciajo del lago di Lecco discendeva dritto fino allo sbocco di Valbrona, per cui staccavasene un ramo, che, passando fra il S. Primo e i Corni di Canzo, percorsa la Vallassina, gettavasi giù verso il Pian d'Erba, e i laghi d'Alserio e di Pusiano, inoltrandosi per la valle del Lambro verso le colline della Brianza. Debbono attribuirsi a quel ramo i massi di serizzo ghiandone e di serpentino dispersi a migliaja nella Vallassina, e la morena che sbarra a mezzodì il lago del Segrino, formando un cumulo enorme, che dalle basi meridionali dei Corni di Canzo va dritto fino al Buco del piombo, profondamente inciso dal Lambro e da' suoi confluenti. Non parliamo dei laghetti e dei colli della Brianza, dove le morene si addossano dovunque ai colli rocciosi.

(1) Vedi sopra a pag. 61.

(2) L'Alpe di Cainallo si trova a 1252 metri sopra il livello del mare, quindi a 1053 metri sopra quello del lago di Como.

Il ghiacciajo, arrivato a Lecco, si dilatava in quell'ampio bacino. A sinistra riempiva quel gran seno in forma di anfiteatro ora occupato dal territorio di Lecco. Una grande morena insinuata si rovesciava sulle basi del S. Martino, del Montalbano e del Resegone. Quella morena fu demolita per la massima parte dai tre torrenti, che crearono il triplice delta che forma attualmente il territorio di Lecco. Ma una gran parte ne esiste ancora intatta, come abbiam veduto (1). Aggiungerò soltanto che la morena insinuata forma a nord del Montalbano i fertili piani di Balabio, mostrando come il ghiacciajo si insinuava fra le Grigne e il Resegone fin entro la gola di Balisio. Ma assai prima di spingersi fin là, il ghiacciajo, insinuandosi tra il S. Martino a nord, e le montagne a mezzodì di Lecco, sbarrava tutto il grande anfiteatro occupato ora dal territorio di Lecco. I tre torrenti, Gerenzone, Caldone e Bione, che ora lo percorrono per gettarsi nel lago, venivano così dal ghiacciajo arrestati, e il vasto anfiteatro fu convertito in lago di sbarramento. Nulla di più evidente dell' esistenza di questo lago, che dovette formare potenti depositi, i quali più tardi, avanzandosi il ghiacciajo insinuato fino nella Valsassina, dovettero essere ricoperti dalle morene. Infatti da quel lato, e precisamente al ponte di Malavedo sotto Balabio, la morena del Montalbano, profondamente incisa dal Gerenzone, mostra un deposito d' argille lacustri, stratificate, che ha una potenza visibile almeno di 60 metri. A sud-est dello stesso Montalbano la morena si arrestò sul fianco del Resegone, formando il piano inclinato, sparso di massi erratici, che sbarra anche in oggi una piccola gola, la quale, se la stagione è molto piovosa, si converte in lago (laghetto di Neguccio) che è un vero lago di sbarramento morenico.

In faccia a Lecco sulla destra del lago si apre la Val Ritorta, per cui spiccavasi un ramo del ghiacciajo, che, passando fra i Corni di Canzo e il M. Baro, andava a riunirsi a quel ramo che abbiam già veduto percorrere la Valassina, per invadere con esso la regione dei laghetti e dei colli briantei. I cumuli morenici, e i massi di serpentino e di serizzo-ghiandone, buttati sui fianchi delle montagne, o sparsi nelle più strane condizioni di equilibrio, fin presso alle maggiori cime del Monte Baro e dei Corni di Canzo, sono meravigliosi a vedersi.

Vi fu però un tempo, quando i ghiacciai battevano la ritirata, che il ramo di Lecco era ristretto su per giù a quell' area che ora occupa il lago. Fu allora che la morena laterale destra sorse a foggia di un' enorme barriera fra la val Ritorta e il ghiacciajo attualmente rappresentato dal lago di Lecco. La valle Ritorta, così sbarrata verso l' unico suo sbocco, dovette convertirsi in un lago, di cui restano sicuri testimonî le sabbie stratificate e le sottoposte argille ugualmente stratificate, che occupano ora tutto il piano della valle. Quel lago rimase fino al tempo in cui le acque della val Ritorta, rodendo a poco a poco la barriera morenica a nord-ovest della rupe di Malgrate verso Parè, portò per conseguenza il prosciugamento di quel gran lago. Un avanzo di esso è il duplice lago di Sala e di Annone, il cui emissario percorre la val Ritorta entro i depositi dell'antico lago, gettandosi nel lago di Lecco. Salvo quella piccola porzione demolita dall' attuale emissario del lago di Annone, il resto di quella barriera rimase intatto, ed è quella collina, che quasi un grande argine, parte dallo scoglio fra Malgrate e Parè, e fiancheggia il lago alle falde del M. Baro fino a Pescate. Noi l'abbiamo già descritta a pag. 50 e figurata nella *Tavola* VII.

Riempito il territorio di Lecco, il ghiacciajo, correndo come fa in oggi l'Adda, arrivava a sinistra allo sbocco della valle S. Martino, che è tutta un mucchio morenico. Insinuandosi per la gola di Erve, arrestava le acque che discendevano per essa dal Resegone. Il paese d'Erve, col suo piccolo territorio, occupa il fondo di un lago di sbarramento, come lo mostrano le argille stratificate, che formano il sottosuolo. Era un altro lago di sbarramento, più vasto, e da quella stessa parte, il gran piano a fondo argilloso che si distende ad ovest di Carenno, e ha per con-

(1) Vedi sopra a pag. 49.

fini il fianco occidentale dell' Albenza. Da quella stessa parte tutto è morenico sui fianchi dell'Albenza nelle fertili valli di Caprino, S. Antonio, Torre de' Busi, ecc. Sull' opposta sponda è celebre pe' suoi massi erratici la val Greghentino.

Il ghiacciajo del lago di Lecco, verso il suo termine, s' insinuava alla sua sinistra fra l' Albenza e il M. Canto, e terminava precisamente a Pontita. Questo vale almeno pel periodo degli anfiteatri, mentre la collina che unisce trasversalmente l'Albenza al M. Canto, incrociando a guisa di un argine la valle di Pontita, non è che una porzione dell' anfiteatro, e precisamente della morena frontale più avanzata, la quale dovette essere traforata dal *tunnel* di Cisano per dar passo alla ferrovia Bergamo-Lecco. Sulla destra però il ghiacciajo, rivestito il fianco settentrionale del M. Canto di una enorme morena d' ostacolo (1), ingolfando ugualmente nelle morene i colli d' Imbersago e di Merate, intese a spiegare il suo anfiteatro verso ovest, invadendo la Brianza, e andando così a riunirsi ai rami staccati, che abbiamo veduto discendere per la val Ritorta e per la Vallassina.

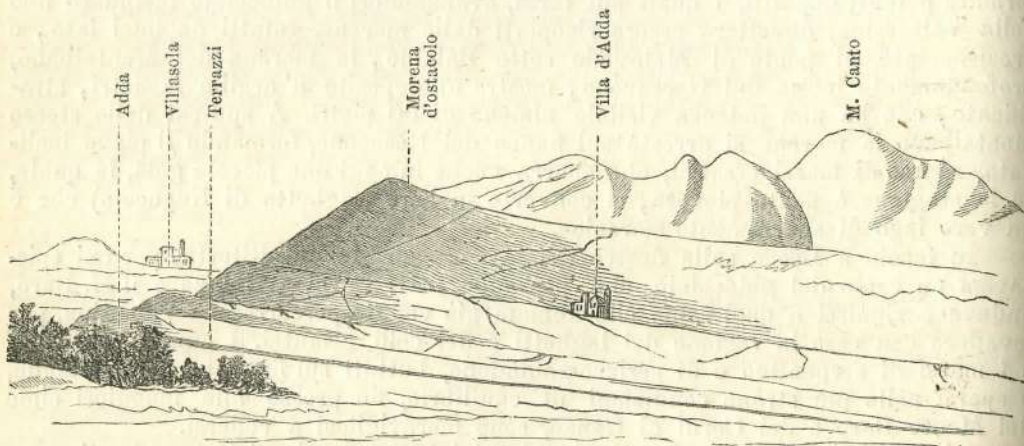



Fig. 29. — Schizzo della morena d'ostacolo sul M. Canto preso dalla Madonna del Bosco sulla destra dell'Adda.

L' anfiteatro morenico del grande ghiacciajo del lago di Como, risultando dalla riunione di due rami principali e di altri secondarî in cui il ghiacciajo stesso si divise, dovette riuscire estremamente complicato; tanto più che la riunione dei diversi rami del ghiacciajo ebbe luogo, non già sopra uno spazio libero, ma per la massima parte sopra un' area molto accidentata, tutta già irta di colli rocciosi, talora molto elevati, tutta un labirinto di seni e di valli, in somma in seno a quella regione montuosa che si chiama Brianza, a cui però vanno aggiunti i colli bergamaschi sulla sinistra dell' Adda, e quelli di Como fin verso il Varesotto. Cercheremo tuttavia di dare un'idea complessiva di quel vasto e complicato anfiteatro, i cui limiti estremi sarebbero ad est le falde orientali dell' Albenza, a sud l' altipiano fra Arcore e Monza, ad ovest le colline moreniche di Appiano.

Alle due estremità laterali corrispondenti al lato destro, od occidentale del gran ramo di Como, ed al lato sinistro od orientale del gran ramo di Lecco, il ghiacciajo era libero di espandersi a suo modo, cioè di spiegare la sua fronte sopra un arco regolare. Ciò sia detto principalmente pel ghiacciajo del ramo di Como, il quale trovava nella regione a sud di Como, cioè oltre la catena di M. Olimpino, e l' altra delle montagne fra Como ed Erba, uno spazio libero da

(1) La figura 29 rappresenta appunto la morena d' ostacolo, la quale non è altro che una porzione della morena frontale che, partendo dall' Albenza, attraversa la valle di Pontita, poi si rovescia sulla base del M. Canto e lo ricinge come fanno le morene d' ostacolo. L' Adda, aprendosi la via attraverso l' anfiteatro morenico, ne ha rose e terrazzate le basi. Nello schizzo, alla sinistra di Villasola, vedesi in profilo il rilievo di un' altra morena frontale più interna, di cui si riparlerà più tardi.

eminenze, fosse una pianura, o fosse, come vedremo che doveva essere di fatti, il mare. Il ghiacciajo, passando sopra Como, quasi strizzato fra il Baradello a ovest, e il M. Goi a est, sormontando anche queste rupestri colline, quando ebbe maggior sviluppo, prendeva il largo, e si avanzava coll' arco della sua fronte fino a Geronico, Appiano, Guenzate, Carimate, di là ripiegandosi verso la Brianza, dove si fondeva naturalmente cogli altri rami di ghiacciajo, che venivano a rovesciarsi sull' area montuosa della Brianza per la doppia via della valle del Lambro e della val Ritorta. La *tavola* IX vale più di qualunque particolareggiata descrizione a dare un' idea di questa porzione regolarissima di anfiteatro. In vicinanza sul davanti ecco a destra l' estremità orientale della catena di M. Olimpino, e alla sinistra il M. Goi, che sorge fra la stazione di Camerlata e Alvate. I colli meravigliosamente arrotondati mostrano come il ghiacciajo dovette occupare tutto lo spazio, relativamente angusto, fra il Baradello e Albate, e uno spazio anche assai maggiore, nel periodo di maggiore sviluppo. Dietro il Baradello e il M. Goi si distende, quasi arena di un vasto anfiteatro, il piano torboso di Camerlata, terminato verso sud-est da un triplice recinto, cioè da tre catene concentriche di basse colline. Sono tre grandi morene frontali, corrispondenti a tre periodi di decrescente sviluppo. La morena esterna, che è anche la più vasta e la più alta, corrisponde alla linea di massimo sviluppo a cui giunse il ghiacciajo nel *così detto periodo degli anfiteatri*. Quella morena gigantesca è ora composta, come tutte le antiche morene, di una serie di eminenze, sorgenti sopra una base comune. Questa divisione in tante colline isolate è dovuta all' azione delle acque pluviali, che scavarono nel mobile detrito tante valli divise da altrettante eminenze. Appartengono a quella prima morena le colline del Geronico, Olgiate, Oltrona, Appiano, Veniano, ecc. La seconda cerchia interna è simile in tutto alla precedente. Le appartengono le colline di Rebbio, Lucino, Maccio, Cassina Rizzardi, Fino, Vertemate, Minoprio, M. Solaro, ecc. La terza cerchia interna, assai più piccola, recinge immediatamente il Piano di Camerlata. Le appartengono le colline di Bernate, Casnate, Cucciago, Cantù, ecc. Non occorre ripetere che questa triplice cerchia si confonde verso la Brianza in un labirinto di colline moreniche, in una specie di caos di cumuli glaciali, o isolati, o a gruppi, o ingolfati in seno alle valli, o rovesciati sui fianchi rocciosi, di quella regione montuosa, dove il ghiacciajo non potè spiegarsi liberamente. Ciò sia detto di tutto quel vasto paese, compreso appunto sotto il nome di Brianza, che sorge fra la valle del Lambro e quella dell' Adda. Quando si voglia tuttavia tracciare sopra una carta i confini del terreno glaciale, si vedrà nettamente delinearsi un cerchio, corrispondente alla curva frontale del ghiacciajo del lago di Lecco, fuso in uno coi rami provenienti dalla Valassina e dalla val Ritorta. Quella curva, partendo dalla valle del Lambro nelle vicinanze di Inverigo, si spinge a mezzodì verso Carate, quindi a sud-est verso Arcore e Villa Nuova, poscia a nord-est verso Verderio e Paderno. Interrotta dall' Adda, ripiglia il suo corso verso il M. Canto, e passando per Pontita, va ad appoggiarsi all' Albenza, di cui riveste le falde orientali. Fra il M. Canto e l' Albenza però abbiamo, per dir così, uno spicchio regolare d' anfiteatro. Esso è rappresentato da due piccoli archi di morene frontali parallele. Corrisponde all' arco esterno la collina di Pontita, che congiunge il M. Canto all' Albenza, attraversandosi come barriera alla valle determinata dai due rilievi paralleli, quello del M. Canto e quello dell' Albenza. La ferrovia da Bergamo a Lecco dovette, come ho già detto, traforare quella barriera mediante il *tunnel* di Cisano. Ma sulla stessa via più verso Lecco, sorge, parallela alla prima, un' altra barriera morenica, la quale venne tagliata dalla ferrovia mediante una profonda trincea, a piè del villaggio di Villasola. Non basterebbe del resto un volume per descrivere gli accidenti già rilevati che presenta l' anfiteatro del grande ghiacciajo del lago di Como. Ma credo che basti quanto ne fu detto, perchè il lettore se ne formi un' idea adeguata. Non so del pari dove si andrebbe a finire, quando si volesse parlare della distribuzione delle rocce erratiche, portate da quel ghiacciajo ai confini dell' attuale pianura, quindi disperse dai fiumi nella stessa pianura. Anzi si può

dire che la pianura fu edificata coi ruderi delle Alpi e delle Prealpi, che costituivano le morene degli antichi ghiacciai. Di ciò diremo più tardi. Basti per ora accennare come tutto il piano a mezzodì del lago di Como, il cui centro è occupato da Milano, consta di detrito glaciale proveniente dalle montagne della valle della Mera, della Valtellina, del lago di Como e di Lecco e della Brianza. Il selciato di Milano, ricco di tante varietà di graniti, di sieniti, di dioriti, di serpentini, di ofiti, di puddinghe, di calcari basta a persuaderci che non vi ha forse antico ghiacciajo che sia disceso carico di tante rocce diverse come il ghiacciajo del lago di Como. Sarebbe uno studio interessantissimo quello di tener dietro alla dispersione di tante rocce, distinte da caratteri così marcati, che ci permetterebbero di rifare interamente l'antico ghiacciajo, e di studiarne tutte le mosse, tanto nel periodo di avanzamento, come in quello di regresso. Per dare un'idea dei risultati a cui io credo si possa giungere mediante lo studio del terreno erratico riporterò alcune osservazioni sulla distribuzione di quella roccia così rimarchevole così caratteristica del terreno erratico proveniente dalla Valtellina. Trattasi ancora del più volte nominato serizzo-ghiandone.

Abbiamo già osservato come i massi di quella roccia, la quale si trova soltanto sulle montagne che fiancheggiano la Valtellina dal lato settentrionale, entrando a costituire soltanto la morena mediana, che nasceva dalla confluenza del ghiacciajo della Mera con quello dell'Adda, percorso il lago di Como, dovevano, ove si dividono i due rami di Como e di Lecco, trasformandosi la morena mediana in morena d'ostacolo, venir dispersi alle basi del S. Primo, cioè sulle montagne che formano la penisola triangolare fra il ramo di Como e il ramo di Lecco. Così avvenne infatti (1): i massi di serizzo-ghiandone sono stranieri tanto alle sponde occidentali del ramo di Como, quanto alle orientali del ramo di Lecco. Non trovai finora che un solo masso, quello di Perledo (2), il quale facesse eccezione ad una regola, la quale è rappresentata da milioni e miliardi di massi e di ciottoli di serizzo-ghiandone, dispersi, accatastati nelle montagne fra Como e Lecco. La cosa, dura così fin verso le estremità meridionali dei due rami. Giunti invece nelle vicinanze di Como da una parte e oltre Lecco dall'altra, troviamo che i massi di serizzo-ghiandone violano quei confini che sembravano loro così rigorosamente assegnati. Io trovai, per esempio, massi di serizzo-ghiandone nella valle della Brengia che sbocca sulla sponda occidentale del lago presso Como, e venni assicurato che molti se ne trovarono negli scavi del *tunnel* e delle trincee di Cisano e Pontida. I massi di serizzo-ghiandone, dispersi ovunque fra il M. Albenza e il M. Bisbino, non segnerebbero dunque più una morena mediana, ma apparterrebbero all'intertero anfiteatro risultante dalla fusione di tutte le morene laterali e mediane di tutti i rami appartenenti all'antico ghiacciajo. Come si spiega questo fatto? In un modo semplicissimo, a parer mio, risultando soltanto che non tutti i ghiacciai confluenti al lago di Como giunsero fino all'estremità dei due rami rispettivi, per formare l'anfiteatro; ma vi giunse soltanto il ghiacciaio dell'Adda, ossia della Valtellina, e anche di questo quella parte soltanto che risultava dalla confluenza dei ghiacciai Alpini che sboccano sulla destra dell'Adda. Il grande ghiacciajo della Mera rimase addietro: addietro rimasero tutti i ghiacciai confluenti alla sinistra dell'Adda: solo il ghiacciajo della destra dell'Adda, carico di massi serizzo-ghiandone, giunse fino presso Como da una parte, e fino a Pontita dall'altra: sol esso formò la fronte dell'antico ghiacciajo, e così i massi di serizzo-ghiandone furono su tutto l'anfiteatro dispersi.

Per intendere come ciò avvenisse, pongasi il lettore sott'occhio la topografia della *Mer de glace* (fig. 3, pag. 17), e meglio ancora quella del ghiacciajo della Pasterze (fig. 8, pag. 24). La topografia della *Mer de glace* mostra come quel ghiacciajo risulti dalla confluenza di cinque, tre alla destra e due alla sinistra. Il maggiore di tutti è l'estremo a sinistra, ed è quindi destinato, per la sua mole

(1) Vedi sopra a pag. 56.
(2) Vedi sopra a pag. 80.

maggiore, e quindi più durevole, a correre maggiore cammino. Così avviene in fatti. Gli altri quattro ghiacciai si assottigliano a poco a poco, finchè svaniscono l'uno dopo l'altro sulla destra della valle. L'estremo ghiacciajo sinistro rimane unico erede di tutto il detrito morenico, e solo si avanza fino al termine, componendosi con tutto il detrito o proprio od ereditato la sua enorme morena frontale. Il ghiacciajo della Pasterze rappresenta ancor meglio l'antico ghiacciajo del lago di Como. Risulta esso in fatti di due ghiacciai confluenti, il più grande a sinistra, e il meno grande alla destra. I due son divisi da una morena mediana di semplice nevischio, e sono fiancheggiati ambedue, il maggiore a sinistra e il minore a destra, da molti piccoli ghiacciai confluenti. Questi piccoli ghiacciai sono i primi a rimaner addietro, mentre i due maggiori continuano il loro cammino. Ma il minore di questi due si perde verso lo sbocco, e solo rimane il più grande, il quale, raccogliendo il detrito di tutti gli altri, e mescolandolo col proprio, si divide in due rami, e forma col detrito mescolato, la morena d'ostacolo e le morene frontali. La montagna che sorge a valle del ghiacciajo della Pasterze, obbligandolo a dividersi in due presso il suo termine, rappresenta benissimo, a piccola scala, la penisola del S. Primo, ossia le montagne fra Como e Lecco, che obbligavano il ghiacciajo del lago di Como a dividersi in due rami, assai prima di giungere al suo termine. La fusione di tutte le morene nelle due, destra e sinistra, del grande ghiacciajo della Valtellina avveniva entro i due rami. Per ciò troviamo sempre diviso il detrito proveniente dalla Mera, disperso sulle sponde occidentali del lago di Como, da quello proveniente dall' Adda, abbandonato sulle sponde orientali del ramo di Lecco. Ma intanto la morena mediana, allargandosi enormemente, ricoprendo tutto il ghiacciajo, nell'uno come nell'altro ramo, fondevasi colle morene laterali, e così il serizzo-ghiandone veniva disperso su tutto l' anfiteatro. Questo allargamento della morena mediana, fino a coprire la fronte del ghiacciajo si osserva anche nei ghiacciai attuali delle Alpi. Ce ne porge un esempio il ghiacciajo dell'Aar (fig. 4, pag. 18), la cui morena mediana, non misurando che 75 metri di larghezza verso l'origine, ne acquista oltre a 700 verso il termine, e finisce a ricoprire interamente il ghiacciajo, sicchè il detrito costituente la morena mediana deve trovarsi alla fine tanto sulla destra quanto sulla sinistra del ghacciajo stesso. Il ghiacciajo dell'Aar, come è espresso dalla fig. 4, è anzi il miglior modello in piccolo dell' antico ghiacciajo del lago di Como. Imaginiamo che dei due grandi ghiacciai componenti il ghiacciajo dell'Aar, quello a sinistra dell' osservatore sia il ghiacciajo della Mera, e quello a destra il ghiacciajo della Valtellina. La morena mediana è quella che riceve i massi di serizzo-ghiandone provenienti dalle montagne che si vedono sorgere fra i due confluenti. La morena mediana si allarga discendendo: riveste le montagne fra Lecco e Como; sempre allargandosi ricopre alla fine interamente i due rami del ghiacciajo, e finisce, mescolando il suo detrito a quello delle morene laterali, a formare l' anfiteatro. Così i massi di serizzo-ghiandone trovansi tanto sulla destra quanto sulla sinistra allo sbocco dei due rami. Nè la loro dispersione è limitata unicamente alle due estremità dell'anfiteatro, corrispondenti a'due sbocchi; mentre i ghiacciai che diramaronsi dalla destra del ramo di Lecco per la doppia via di Vallassina e di val Ritorta, dispersero il serizzo-ghiandone su tutta la Brianza, anzi su tutta la regione fra Lecco e Como.

Ai molti particolari che si potrebbero aggiungere circa lo svolgimento dell'antico ghiacciajo del lago di Como supplisca la *Tavola* XIII in fine al volume.

5. Appendice al ghiacciajo dipendente del lago di Lugano.

Nei due precedenti paragrafi abbiamo accennato a diversi rami del ghiacciajo del lago Maggiore e di quello del lago di Como che si andavano a perdere nel lago di Lugano. È molto probabile che alcune vedrette si formassero nell'epoca glaciale sui versanti orientali della valle dell'Agno, dipendenti dalle vette abbastanza elevate del M. Camoghè, e altre sui versanti della valle Cavargna dipendenti dal

Pizzo Menone. Ma esse non potevano certamente avere uno sviluppo appena considerevole, ed il bacino del lago di Lugano sarebbe rimasto libero dai ghiacci, se esso non si fosse trovato, come al presente, in comunicazione, per diverse depressioni molto profonde, coi due grandi bacini laterali del lago Maggiore e del lago di Como. Io credo anzi indubbiamente che, avanti l'epoca glaciale, il lago di Como era in comunicazione con quello di Lugano, mediante la valle di Menaggio, e il lago di Lugano col lago Maggiore mediante la valle della Tresa. Il lago di Lugano, riempito dai ghiacciai, diramantisi dal lago Maggiore e dal lago di Como, costituì quel che io chiamo un ghiacciajo dipendente, il cui apparato morenico è enormemente sviluppato. Si deve anzi attribuire agli enormi accumulamenti morenici, i quali occuparono gli antichi sbocchi, se il lago di Lugano venne intercettato, e i tre laghi acquistarono così un diverso livello ciascuno. L'antico ghiacciajo del lago di Lugano, nutrito dai ghiacci degli altri due, ebbe poi uno sbocco suo proprio, anzi due, ad ovest per la valle di Arcisate, ad est per la valle di Mendrisio. Tenteremo di dare per sommi capi un'idea di questo ghiacciajo.

Il ramo del ghiacciajo del lago di Como, per la valle di Menaggio si versava entro la diramazione più settentrionale del lago di Lugano. Tutta la valle di Menaggio è come colmata dal detrito morenico. Il laghetto del Piano non è che un lago intermorenico. Il primo ramo descritto incontrava un secondo, diramantesi ugualmente dal ghiacciajo del lago di Como per la via della val d'Intelvi, colmata anch' essa dal detrito glaciale. I due rami riuniti formarono un solo ghiacciajo, che avviossi verso Lugano, torcendosi quindi verso sud fra il M. S. Salvatore e il M. Generoso o Calvagione.

Intanto per la valle della Tresa e anche per la Malgorobbia penetrava nell'interno il ghiacciajo del lago Maggiore, che riempì il ramo del lago di Lugano fra Agno e Morcote. La valle dell'Agno fra Lugano ed il M. Cenere trovossi così sbarrata, tanto dalla parte di Lugano per mezzo del ghiacciajo proveniente dal lago di Como, quanto dalla parte di Agno pel ghiacciajo proveniente dal lago Maggiore. Dovette dunque convertirsi in un gran lago di sbarramento. Questo lago è rappresentato dall'altipiano fra Lugano, Tesserete e Taverne, entro il quale il torrente Agno scorre in oggi profondamente incassato. Verso Lugano l'altipiano è contenuto da un'enorme barriera morenica, in gran parte terrazzata, al cui piede è distesa la città. Questa morena rappresenta la morena laterale destra del ghiacciajo, che, insinuandosi fra il M. Vaglia a nord-est e il S. Salvatore a sud-ovest, tratteneva da quella parte le acque dell'Agno e del Lisone. Dalla stazione della ferrovia si distingue benissimo, e tutta si misura collo sguardo quella barriera enorme, e dietro ad essa il piano dell'antico lago, del quale rimane, come ultima reliquia, il laghetto fra Tesserete e Vescia. A fianco di questo antico lago glaciale, un altro ne esisteva, occupando la valle di Scairolo, per cui si va da Lugano ad Agno, passando per Mozzano. La valle di Scairano è un'antica *culmina*, cioè una specie di conca, prodotta dall'erosione dei micaschisti. La valle è fiancheggiata a sud dai dirupi quasi verticali della dolomia di S. Salvatore: a nord dalle più morbide eminenze composte di micaschisto, che sorgono fra Lugano e la valle dell'Agno. Quella valle dovette rimanere sbarrata, tanto allo sbocco est per mezzo del ghiacciajo proveniente dal lago di Como, quanto allo sbocco ovest per mezzo del ghiacciajo che veniva dalla Tresa. Così sbarrata la valle si converse in lago. Presentemente in fatti il suo fondo ha la figura d'un altipiano, elevato al massimo 80 m. sul livello del lago di Lugano. Ma non è questo il fondo primitivo dell'antico lago, mentre il terreno lacustre si eleva ancora a terrazzi appoggiati ai fianchi degli opposti monti, fino all'altezza di altri 50 a 80 m. Tutto quel terreno è certamente lacustre. Consta in fatti d'una continua alternanza di strati sovrapposti di argille, di sabbie talora pure, talora impurissime. Dalla parte verso Lugano, in mezzo agli strati regolari argillosi, o sabbiosi, si osservano massi d'ogni dimensione, e irregolari accumulazioni di massi e ciottoli alpini meravigliosamente striati. Rappresentano essi lo sfasciume della morena, la quale sosteneva il lago da quella parte, e sfranando mescolava il suo detrito coi fondi lacustri. Spesso

quelle sabbie e quelle argille sono ferruginose assai, indicando così parziali depositi paludosi. La morena allo sbocco della valle fu lavata, terrazzata, portata via dall'erosione; ma il detrito grosso, e i massi voluminosi rimangono ancora sparsi alla rinfusa, formando i più superficiali depositi. I massi erratici abbondano specialmente sulle alture. Vi si distinguono specialmente il granito verde, proveniente dall'Engadina, portato fin là dal ghiacciajo della Mera; poi gneiss, schisti cristallini d'ogni foggia e massi di puddinga rossa, provenienti dalle montagne fra Menaggio e Dongo. Tutto ciò indica che al ghiacciajo del lago di Como, insinuatosi per la val di Menaggio e la val d'Intelvi, devesi lo sbarramento delle valli sopra Lugano. Presso il villaggio di Calprino, in alto sulla sponda meridionale della valle di Scairolo, abbondano nelle argille lacustri le conchiglie d'acqua dolce, come *Planorbis, Anodonta, Cyclas, Bitynia.* Innumerevoli gli *operculi* appartenenti a quest'ultimo genere di conchiglie lacustri. Vi si raccolgono inoltre pezzi di legno, fusti striati di *Chara*, squame e denti di pesce. Internandosi nella valle il detrito glaciale va sparendo, e le argille azzurre senza alcun ciottolo, mostrano un libero lago. Il centro di quell'antico lago di sbarramento si può dire rappresentato dal forno Hoffmann, che si trova sulla via da Lugano a Mozzano, dove le argille sono purissime, ed impiegate nella fabbrica dei mattoni. Lì presso esiste ancora un laghetto, rappresentante dell'antico lago glaciale (1).

Lasciando altri particolari, ripeterò semplicemente che il ghiacciajo indipendente, colmato tutto il lago di Lugano, trovava due sbocchi verso il piano ad ovest per la valle di Arcisate, e ad est per la valle di Mendrisio. Si può benissimo accompagnare il ramo che occupava tutta la valle da Porto Morcote ad Arcisate, e portandosi verso Varese, si ritrovava col ramo di ghiacciajo che sboccava dalla val Ganna. Qui sorse un bellissimo anfiteatro, che chiude ancora a mezzodì la valle di Arcisate. Questo anfiteatro si spicca molto nettamente da Induno, distendendosi sulla sinistra dell'Olona verso Malnate. Da quel lato si butta sulle colline rocciose fra Malnate e Olgiate, e si perde poi in quel labirinto di colline rocciose e di morene, che rappresentano l'estremità occidentale del grande anfiteatro glaciale del lago di Como. Qui pure terminano e si confondono in un caos inestricabile le morene portate dal giacciajo di Lugano, che veniva per la valle di Mendrisio, ed occupava la regione montuosa fra Stabio, Balerna e M. Olimpino, formando come un anello che lega, per mezzo delle valli di S. Fermo e della Brengia, le morene del lago di Lugano con quelle del lago di Como.

6. Sistema dell' antico ghiacciajo dell' Oglio o del lago d' Iseo.

Fra i ghiacciai principali dell' alta Italia, quello del lago d'Iseo era certamente il più piccolo, come quello che discendeva, non dalle Alpi propriamente dette, ma da quel gruppo di montagne che lega le Alpi alle Prealpi, e vanta come massima cima il M. Adamello. Il ghiacciajo del lago d'Iseo era uno fino dalla sua origine, constava cioè di un solo grande ghiacciajo che occupava tutta la valle dell' Oglio fra Edolo e il M. Tonale. È molto probabile però che, nel periodo di massimo incremento, il ghiacciajo dell'Adda comunicasse con quello dell'Oglio per la via dell'Aprica, dove l' Oglio ha geograficamente le sue sorgenti. Il terreno glaciale è dovunque sviluppatissimo lungo la valle dal Tonale ad Edolo, dove forma poderosi accumulamenti, che si osservano dovunque, tanto nei dintorni di Edolo, come lungo la val Camonica fin dove ha il suo sbocco nel lago d'Iseo. Fra i particolari che ho potuto raccogliere, accennerò l'arrotondamento delle rupi di puddinga rossa, appartenenente all'arenaria variegata, che sporgono

(1) Tutte queste osservazioni sul terreno glaciale dei dintorni di Lugano furono da me raccolte in una gita da me intrapresa a questo scopo nel 1875. Non ebbi però opportunità di occuparmi dei particolari relativi all'altipiano della valle dell'Agno, il quale si presenta indubbiamente come un lago di sbarramento. A Castagnola però, a nord-est di Lugano si incontrano le argille come nella valle di Scairolo.

isolate sul fondo della valle fra Esine e Darfo. In faccia a quest' ultimo paese sbocca, sulla destra dell'Oglio la valle del Dezzo, o val di Scalve, la quale, come vedremo, diede origine di proprio a un ghiacciajo secondario. Questo però non occupava che la parte alta, detta propriamente val di Scalve, mentre la parte bassa, detta propriamente val del Dezzo, rimaneva libera per lungo tratto. Il ghiacciajo della val Camonica, incrociandola, doveva tuttavia turarne lo sbocco, convertendola in lago. Rimontando in fatti la gola profonda del Dezzo fin sopra Gorzone, tutta scavata nel porfido o nell' arenaria variegata, si incontra un bacino tutto riempito di terreno morenico, e quindi costituente un fertile territorio. È questo il territorio d'Angolo e Mazzuno, il quale non rappresenta che la grande morena di sbarramento, o morena insinuata del ghiacciajo dell' Oglio. Il torrente Dezzo, rodendo fino a grande profondità la morena, mise a nudo, anzi incise profondamente delle sabbie e delle argille, regolarmente stratificate, le quali occupano il fondo della valle del Dezzo per lungo tratto a monte di Angolo e Mazzuno. Quei depositi rappresentano appunto il lago glaciale, sostenuto altre volte dalla morena insinuata, poi vuotato in conseguenza del taglio della barriera praticato dal Dezzo.

Il ghiacciajo dell' Oglio, arrotondando i porfidi e le puddinghe fra Darfo e Lovere, giungeva all'estremità settentrionale del lago d'Iseo. L'aveva appena occupata, quando trovavasi sulla destra la stretta gola di Castro, dove sbocca attualmente, quasi da enorme voragine scavata a picco entro il calcare, il torrente Borlezza, che discende dalla Presolana passando ad est di Clusone. Benchè quella gola fosse angustissima, staccavasi per essa un ramo del ghiacciajo dell'Oglio, il quale, passando sopra Pianico, incrociava il torrente Borlezza, convertendo in lago la valle di questo nome. Di questo lago, rappresentato da enormi depositi lacustri, contenenti rinoceronti, pesci e piante in gran numero, dovremo intrattenerci più tardi, quando discorreremo del clima, della fauna e della flora dell'epoca glaciale. Secondando la pendenza del terreno, quel ramo del ghiacciajo del lago d'Iseo si torceva tosto verso sud-ovest, percorrendo la valle Cavallina. Il lago Gajano e il lago di Endine o lago Spinone, sono indubbiamente laghi di sbarramento glaciale, i quali occupano attualmente il letto della valle, il quale era un giorno quello del ghiacciajo. Alle basi delle montagne, che fiancheggiano la val Cavallina, veggonsi dovunque le poderose reliquie delle morene frontali. Enormi accumulamenti di terreno glaciale occupano i seni laterali. Il massimo è quello che occupa sulla destra la grande insenatura di Ranzanico sotto il M. Palandone, fra Endine e Spinone. Gli enormi massi erratici appartengono principalmente ad una varietà di porfido violetto, che si trova in posto sul triangolo descritto dall' Oglio e dal confluente del Dezzo fra Rogno e Angolo, dove forma un' alta montagna, con diverse ramificazioni fra l'arenaria variegata e i gessi di Volpino. I massi di porfido, staccandosi da quella montagna, dovevano naturalmente arrestarsi sul fianco destro del ghiacciajo dell' Oglio. La morena laterale che ne risultava, pervenendo alla gola di Castro, dovette naturalmente insinuarvisi, ripiegandosi quindi nella valle Cavallina con quel ramo di ghiacciajo che la veniva percorrendo. Così dunque nella val Cavallina venivano dispersi i massi erratici di porfido. Il ramo della valle Cavallina, seguendo l'attuale corso del Cherio, giunto sotto Borgo di Terzo, trovò un ampio bacino interno, il quale, a modo di anfiteatro, gira fra i monti da Luzzana a Trescorre, e da Trescorre ad Entratico. Il Cherio trova attualmente una gola assai stretta, per cui dall'interno bacino si getta nella pianura fra Trescorre e Zandobbio. Fino a quella gola però (almeno nel periodo degli anfiteatri) non giunse il ghiacciajo della valle Cavallina, ma si arrestò entro il bacino, e, spiegando la sua fronte, fabbricò entro il recinto dell' anfiteatro roccioso un anfiteatro morenico. Le colline ubertose da Entratico a Luzzana appartengono a quell' anfiteatro, cioè alla morena frontale di quel ramo del ghiacciajo del lago d' Iseo, che percorse la val Cavallina senza arrivare a ricongiungersi col tronco.

Ritornando al ghiacciajo principale, esso continua la sua via, riempiendo il

lago d'Iseo, insinuandosi a destra e a sinistra nelle valli laterali, onde risultavano gli enormi accumulamenti di Marone, di Zone, di Vigolo e di Tassano già precedentemente descritti (1). Giunto fra Iseo e Sarnico si trovava di fronte il colle d'Adro, sorgente fra due depressioni. Il ghiacciajo, obbligato a dividersi in due rami, spingeva il primo fra il colle d'Adro e i monti d'Iseo, e andava ad erigere il magnifico anfiteatro della Franciacorta, pur descritto precedentemente (2), e delineato nella *Carta del sistema glaciale del lago d'Iseo* (*Tavola* II). La *Tavola* XV presenta una veduta dello stesso anfiteatro, presa dall'alto delle colline sopra Erbusco, guardando verso Iseo. La grande morena frontale, che si spicca dal colle d'Adro a sinistra, e con regolarissima curva va ad appoggiarsi al monte sopra Iseo, forma le vicinanze. Fra il colle d'Adro e il monte sopra Iseo vedesi il lago, e nello sfondo le montagne che lo fiancheggiano a destra. Per di là il ghiacciajo si insinuava fra il colle d'Adro e il monte d'Iseo, occupando il piano ora torboso di Torbiato, che vedesi recinto dalla morena frontale. L'altro ramo terminale del ghiacciajo seguiva l'attuale corso dell'Oglio, e si arrestava a circa 5 chilometri dall'emissario attuale del lago d'Iseo. Così la sua fronte incrociava dapprima la valle Adrara, quindi la val del Foresto. Le due valli convertivansi in laghi. Un bel tronco di morena, che sembra formato jeri, si presenta in fatti allo sbocco della val del Foresto, dove è incisa dal torrente che vi si è aperta la strada. Al piede di quella morena, verso l'interno della valle, eccoci immediatamente un gran deposito di argille stratificate, che riempiono il fondo della valle, testimonî sicuri dell'esistenza d'un antico lago. Quelle argille trovai zeppe di *Unio*, conchiglie lacustri tanto caratteristiche. Un altro gran tronco di morena gigantesca mostrasi allo sbocco della valle Adrara presso Sarnico, e sostiene nell'interno un grande altipiano argilloso, che dà anche in oggi al fondo di quella valle l'aspetto di un lago. Le conchiglie lacustri vi si scoprono in fatti. Merita una particolare descrizione quella parte di formazione lacustre che si presenta al luogo detto le Fornaci, quasi allo sbocco della valle. Il deposito, rôso profondamente da un torrentello, consta inferiormente di una gran massa di argille, talora un po' sabbiose, a strati fini e regolarissimi. Alla base delle argille si osserva un piccolo letto di lignite torbosa, simile a quella che si trova in altri depositi appartenenti ad antichi laghi glaciali. Le argille sono coperte da un conglomerato, o piuttosto da banchi di ghiaje calcaree, d'origine locale. Esse indicano il lido, ossia il deposito torrenziale, che dovette avanzarsi entro il lago, e sovrapporsi alle argille, cioè ai fanghi accumulati sul fondo di esso. Nelle argille alle Fornaci scoprironsi cospicui resti del *bue primigenio.* Anche su questo fatto torneremo più tardi.

La fronte del ramo occidentale del ghiacciajo del lago d'Iseo dovrebbe anch'essa essere segnata da un anfiteatro morenico. Si disse che esso mancava, perchè interamente distrutto posteriormente alla sua formazione; e manca in fatti all'occhio di chi osservi le cose troppo superficialmente. L'anfiteatro morenico esiste; è anzi sviluppatissimo: soltanto venne per una parte modificato, e per un altra parte distrutto dall'Oglio, che vi si aperse più tardi la via. Una parte però ne rimane ancora, e consiste in una serie semicircolare di tronchi di morena frontale, i quali descrivono la cerchia morenica, al modo stesso che far potrebbero i ruderi del recinto di un antico anfiteatro romano. Questi tronchi di morena, i quali disegnano, quasi altrettanti capi stabili, l'anfiteatro morenico in questione, che doveva riunire il colle d'Adro alle montagne a nord-ovest di Sarnico, sono i seguenti:

1.° la collina di Paratico, porzione di morena, che, appoggiata alle falde occidentali del colle d'Adro, fiancheggiando il lago, si va rilevando verso sud-ovest, finchè attinge la massima elevazione sopra il luogo detto S. Pietro, dov' è

(1) V. sopra a pagina 50.
(2) V. sopra a pagina 47.

improvvisamente interrotta dall'emissario dell' Oglio, che le rode il piede ad una profondità di circa 80 metri.

2.° Il colle di Montecchio, sulla destra dell'Oglio, che rappresenta il punto culminante dell'anfiteatro morenico, elevandosi fino a circa 90 metri sul fiume. Il colle di Montecchio si avanza per lungo tratto in forma di collina allungata verso la valle del Foresto.

3.° Il tronco, già citato, che sbarra la valle del Foresto.

4.° Il tronco, egualmente citato, che serve di barriera alla valle Adrara, e compie da quella parte il semicerchio dell'anfiteatro morenico.

Ritorneremo a suo tempo sul fenomeno interessantissimo del terrazzamento che presentano tutti gli anfiteatri morenici, ma in modo speciale questo dell'antico ghiacciajo del lago d'Iseo. Vedremo allora per quali leggi l'anfiteatro stesso fu per sì gran parte demolito, e foggiato a terrazzi, ad altipiani, i quali costituiscono un magnifico sistema sulle due sponde dell'Oglio, fra l'estremità meridionale del lago d'Iseo e Palazzolo. Ma gli stessi terrazzi constano di terreno glaciale appartenente al vecchio anfiteatro. La nuova ferrovia da Sarnico a Palazzolo, colle sue grandi trincee scavate sulla sponda sinistra dell' Oglio, ha sviscerato profondamente il terreno glaciale, svelandone l'imponenza. Su tutta quella linea altro non si vede che un cumulo caotico immenso di ciottoli, talora cementati con sabbie e ghiaje, formanti un tutto assolutamente irregolare, e di struttura onninamente morenica. In mezzo al minore detrito sporgono assai spessi i grossi massi erratici composti di rocce diverse, che si trovano in posto sulle due sponde del lago d'Iseo e della val Camonica. Nel doppio anfiteatro morenico del ghiacciajo descritto spiccano principalmente i graniti provenienti dal gruppo del M. Adamello, e i porfidi, generalmente violetti, che emergono in posto su diversi punti della val Camonica.

7. Sistema dell'antico ghiacciajo della Sarca o del lago di Garda (1).

Se si vuol avere un'idea delle enormi dimensioni che aquistarono, in confronto degli attuali, gli antichi ghiacciai, il meglio è di portarsi alle basi dei versanti settentrionali delle Alpi, e esservare quale enorme sviluppo ebbero gli antichi ghiacciai del Rodano, del Reno, dell'Inn, ecc. Ma gli antichi ghiacciai da quella parte, per la stessa enormità del loro sviluppo, usciti dalle angustie delle alpine vallate che mantenevano distinta l'individualità di ciascuno, si dilatarono nelle regioni subalpine, si fusero quasi tutte insieme, perdendo ciascuno in certo senso la propria individualità, per costituire quasi un immenso mare di ghiaccio, che invase la Svizzera, la Baviera, gran parte della Germania. Da quelle parti poi la regione dove i ghiacciai si arrestarono è tutta accidentata, tutta irta di eminenze e di grandi rilievi, rappresentati principalmente dal Giura svizzero e bavarese, e da tanti altri rilievi secondarî sui confini meridionali della Germania. Non ebbero agio per ciò sempre i ghiacciai di distendere libere le ampie fronti, e di fabbricare regolari anfiteatri morenici.

Quando si volesse invece trovare negli antichi ghiacciai conservato il vero tipo de' ghiacciai alpini, il qual tipo è quello di una massa di ghiaccio, generata dalla confluenza di un certo numero di campi di neve e di piccoli ghiacciai entro un circo o bacino recipiente comune, poi fluente lungo una valle a guisa di fiume per sboccare finalmente al largo, mantenendo sempre la propria individualità, distendendo liberamente la fronte, edificando un anfiteatro a semicerchio tutto suo proprio; se si volesse, dico, osservare un tal tipo ne' ghiacciai antichi, bisognerebbe

(1) Dell' antico ghiacciajo del lago di Garda scrissero con molto merito il Signor Mortillet e il prof. Enrico Paglia. Feci appositamente io stesso nello scorso autunno (1875) una gita di parecchi giorni all' ingiro dell' apparato glaciale, recandomi da Lonato a Volta, da Volta a Garda, percorrendo in seguito il lago di Garda, la valle di Mori, quella dell'Adige da Roveredo a Trento, poi da Trento a Riva per la valle della Sarca, in seguito per la valle di Ledro nella valle di Chiese, ecc.

cercarlo a preferenza sui versanti meridionali delle Alpi, dove lo offrono tutti più o meno perfetto i grandi ghiacciai, che dalle valli alpine giunsero fino ai limiti settentrionali dell' attuale pianura del Po, trovandovi un'area generalmente libera, od irta soltanto di non numerosi e poco considerevoli rilievi. Vedremo anzi più tardi come la regione degli anfiteatri morenici era ancora coperta dal mare, sicchè ogni ghiacciajo potè gettare sul fondo di esso le basi di un anfiteatro distinto. Come modelli di questi antichi ghiacciai alpini, perfettamente individuali, con anfiteatro morenico regolarissimo, possiamo citare i già descritti ghiacciai della Dora Riparia e della Baltea.

Ma se si voglia finalmente un ghiacciajo, il quale alle grandiose dimensioni dei ghiacciai svizzeri e bavaresi congiunga la perfezione di quel tipo individuato che presentano i ghiacciai italiani, un ghiacciajo che sia come l'archetipo del suo genere, noi lo troveremo nell'antico ghiacciajo del lago di Garda. Questo colosso della sua razza, di cui nulla può forse citarsi al mondo di più perfetto, rappresentato in oggi da quanto può avere di magnifico un apparato glaciale, mentre spiega la sua fronte solitaria nella libera pianura fra due zone prettamente alluvionali, misura coll' arco del suo regolarissimo anfiteatro, una curva di ben 100 chilometri. Quanta parte della storia d'Italia si lega a quell'immane edificio dell' antico ghiacciajo, a quello smisurato baluardo che sorge sui confini settentrionali della pianura lombardo-veneta, e occupa quasi tutta la regione fra le due storiche città di Brescia e Verona! Tutta si può dire la storia del suo servaggio e del suo riscatto nei tempi moderni. Nei tempi antichi, poi e fin nei tempi preistorici, chi può dire i conflitti, i laghi di sangue versati su quei formidabili colli, che sorgono a guisa di naturale fortezza fra le gole dell'Adige e la pianura eridana? Quel grande rilievo semicircolare, che qualunque più meschina carta topografica mette in evidenza come anfiteatro glaciale, si presenta a prima vista come un labirinto di colline e di valli innumerevoli. Osservando meglio però, tutte quelle colline trovano il loro posto sopra altrettanti archi concentrici, formando altrettante serie di eminenze, sorgenti sopra un' unica base. Questa base ha appunto la forma di un gran rilievo semicircolare, il quale parte dalle montagne che fiancheggiano ad ovest il lago di Garda, per raggiungere, mediante un'ampia svolta nella pianura, le montagne che limitano il lago ad est. Così essa ricinge a valle e contiene quel vasto bacino, che gli antichi dissero simile al mare. Le storiche eminenze di Montechiaro, Solferino, S. Martino, Volta, Sommacampagna, ecc., non sono che alcuni punti prominenti di quell'immane anfiteatro.

La vastità e il volume di quell' anfiteatro è tale, che la sua esistenza sarebbe al tutto problematica quando si dovesse attribuirne la formazione soltanto all'antico ghiacciajo della Sarca, da cui dipende il lago di Garda. La Sarca in fatti, prescindendo da alcuni scarsi torrenti laterali al lago, è l'unico fiume che vi si versa e lo mantiene, entrando in esso a Riva di Trento per uscirne a Peschiera sotto il nome di Mincio. Ma tra i fiumi alpini la Sarca è uno dei meno considerevoli, e non può in nessun modo paragonarsi nè al Ticino, nè all'Adda, e nemmeno all' Oglio nella cui grandezza trova sufficiente ragione quella dei rispettivi antichi ghiacciai e dei loro anfiteatri. È vero che la Sarca mette capo anche attualmente alle vedrette abbastanza considerevoli del gruppo del M. Adamello, e ad altre, le quali, ingrossando nell' epoca glaciale, dovevano dar luogo ad un ghiacciajo di qualche importanza. Ma si pensi che questo solo ghiacciajo doveva riempire tutta la valle, poi colmare il più vasto, come il più profondo tra i bacini lacustri dell' alta Italia, questa fossa smisurata che vanta una profondità di 800 metri e una lunghezza massima di quasi 20 chilometri; poi doveva ancora levarsi ben altri 1000 metri sopra l'attuale livello del lago, come ce ne accertano i massi erratici, gli arrotondamenti delle rocce, insomma tutti gli indizî del passaggio di un antico ghiacciajo. Dopo tutto questo il piccolo ghiacciajo della Sarca doveva avanzarsi nella pianura oltre i confini attuali del lago ben altri 15 chilometri, con una fronte di 100 chilometri. Questo mostruoso sviluppo di un antico ghiacciajo, dipendente da uno dei più piccoli bacini delle Alpi (anzi meglio direbbesi delle Prealpi), sarebbe, il ripeto, assolutamente un problema, per non dire un assurdo.

Ma ogni mistero scompare quando si guardi all'orografia speciale della regione montuosa a nord del lago di Garda, considerandola in rapporto coll'altezza, a cui attinsero allora tutti i ghiacciai che discendevano dalle Alpi. La valle della Sarca e il gran lago che ne dipende, sono fiancheggiati a destra e a sinistra da due valli parallele. A destra, cioè ad ovest, la valle del Chiese, valle considerevolissima, meritevole assai più di quella della Sarca di essere annoverata fra le grandi valli alpine. Sulla sinistra, cioè ad est, la valle della Sarca e il lago di Garda sono fiancheggiati dalla valle dell'Adige, fra le vallate alpine la massima. Le catene di montagne che sorgono fra le due grandi valli laterali suddette, e quella della Sarca che corre nel mezzo, sono alte assai più di quanto basta attualmente a mantenere le acque nei rispettivi tre bacini, non permettendo in nessun caso che quelle del Chiese o dell' Adige abbiano ad immettersi, per sbocco laterale, nel lago di Garda. Ma imaginiamo, per un caso stranissimo, che fossero tali le piene del Chiese e dell'Adige, che le acque si alzassero 500 o 600 m. sopra il letto attuale dei rispettivi fiumi. Basterebbero questi 500 o 600 m. perchè le acque dell'Adige e del Chiese venissero a confondersi con quelle della Sarca, per versarsi con esse nel lago di Garda. Ciò che per le acque attuali non è che ipotesi, era un fatto per gli antichi ghiacciai corrispondenti alle valli dell'Adige e del Chiese. Quegli antichi ghiacciai non si levavano soltanto sui letti delle rispettive valli i 500 o 600 m. che io credo sufficienti per far discendere nel lago di Garda le acque dell'Adige e del Chiese: ma si levavano altri 500 o 600 m. di più, come lo mostrano tutti gl' indizî dell'azione glaciale.

A persuaderci di quanto si afferma basta la più superficiale verifica sopra una carta qualunque dei rapporti orografici che esistono fra i due bacini laterali che diverrebbero confluenti, e il bacino medio che diverrebbe recipiente.

Cominciando dal bacino dell'Adige, abbiamo veduto come anche attualmente esso derivi le sue acque da un sistema potente di ghiacciai e di vedrette. L'antico ghiacciajo dell'Adige doveva indubbiamente vincere per la mole tutti gli altri ghiacciai dell' Italia subalpina. Il tutto era in perfetta regola per quel grande ghiacciajo, partendo dalle massime vette alpine per arrivare fino a Trento, mentre la valle dell'Adige è sempre fiancheggiata da alte montagne, e quindi capace benissimo a contenerlo, benchè l' antico ghiacciajo si levasse qualche migliajo di metri sopra il livello attuale del fiume. Ma presso Trento la catena che fiancheggia l' Adige a destra presenta due profonde e larghe intaccature, le quali aprono anche in oggi le due più facili vie di comunicazione fra la valle dell'Adige e quella della Sarca.

La prima intaccatura di cui parlo è la gola percorsa dalla strada carrozzabile che da Trento conduce nella valle della Sarca passando per Cadine, Vezzano, ecc. La seconda intaccatura sullo stesso lato è quella della valle di Mori, percorsa dalla via carrozzabile che da Roveredo conduce direttamente a Torbole in riva al lago di Garda, passando per Mori, Loppio e Nago.

Venendo ai particolari della prima depressione laterale, per cui il ghiacciajo della valle dell'Adige doveva riversarsi, con trabocco di fianco, nelle valle della Sarca, non bisogna limitarla unicamente a quella gola stretta e pittoresca, che si percorre in vettura, ascendendo forse 600 m. fino a Cadine, per discendere a Vezzano. Un'altra larga depressione ed altre minori fiancheggiano quella gola a nord; e tutte le montagne sulla destra dell'Adige fra Trento e Lavis sono così basse, che il ghiacciajo, levandosi poche centinaja di metri, doveva superarle, e versarsi per larga foce nella valle della Sarca, invadendo i dominî suoi. Del resto percorrendo anche soltanto la via che da Trento mette nella valle della Sarca, si vede come il detrito morenico fu deposto dovunque dal ghiacciajo dell' Adige, appena trovi su quella via scoscesa un seno o un piccolo piano d' appoggio. A quella del detrito morenico si aggiunge la testimonianza dei lisci, degli arrotondamenti, i quali si mostrano dovunque non solo sui lati, ma anche sulle cime delle montagne che fiancheggiano la gola, dimostrando, come già dissi, che il ghiacciajo dell'Adige, dipartendosi lateralmente dalla propria valle, sorpassava quelle cime,

allargandosi a destra e a sinistra di esse, occupando tutta una vasta depressione, in corrispondenza con quel prolungamento della valle della Sarca verso nord, formante quasi un lungo bacino che si misura dallo sbocco della Sarca a Sarche fino alle montagne che lo separono immediatamente dalla valle dell'Adige. Il fondo di quel bacino presenta quasi una superfice ondeggiante, essendo occupato da rilievi arrotondati, da morbide depressioni e da sinuosità flessuose. Tutto ciò lo rende molto simile al passo del S. Gottardo, il quale ha appunto la forma di un bacino allungato che mette in comunicazione le due opposte valli, e a tanti altri passi alpini dove sono così recenti, così ben conservate le tracce di una maggiore estensione degli alpini ghiacciai. Le depressioni più profonde nel descritto bacino della Sarca sono occupate da diversi laghetti, il maggiore dei quali è il laghetto di Terlago. Preso nel suo complesso quello sbocco laterale dell' antico ghiacciajo dell'Adige è forse più largo che non sia la valle stessa dell'Adige, almeno misurandola sotto Trento. Per ciò il ramo di ghiacciajo, che se ne staccava, doveva essere più potente del tronco, che continuava la sua via. Così una gran parte (probabilmente la massima) del ghiacciajo dell'Adige veniva a rovesciarsi nella valle della Sarca, riempiendo da solo la valle stessa, fino al punto in cui ha luogo al presente lo sbocco del fiume Sarca dalla valle di Rendéna, e dove allora confluiva il gran ramo del ghiacciajo dell'Adige col ghiacciajo della Sarca propriamente detto, proveniente dalla nominata valle di Rendéna. Nulla vi ha, lo ripeto, di più interessante per lo studioso di antichi ghiacciai, di questo tronco morto di valle, per così chiamarlo, che riunisce la valle dell'Adige a quella della Sarca. Le alluvioni posteriori vi hanno potuto pochissimo, per cui il fondo di quella valle è ancora tutto nudo, co' suoi dorsi arrotondati, colle lisciature, colle striature, che presentano veramente un qualche cosa di molto distinto nel suo genere. Tutto accenna a un gran movimento generale del ghiacciajo verso il lago di Garda, e gl' indizî di quel movimento sono visibili dovunque, sul fondo come sul fianco della valle, fino ad un'altezza di 1000 m. almeno. Evidentemente il ghiacciajo dell'Adige si riversava nella Sarca a foggia di una gran cataratta di ghiaccio, sotto il cui incubo non c'era rupe che non dovesse uscirne come da lima immensa ottusa, arrotondata, striata e lisciata. Di morene non si osservano che dei ruderi, la cui potenza non è certo in corrispondenza col resto dell' apparato glaciale. Ma non era quì il luogo dove le morene potessero arrestarsi, non presentando i lati della valle nè piani nè seni considerevoli, ma montagne nude, ripidissimi pendii e pareti verticali. Gli scoscendimenti e le frane vi abbondano invece assai, ed essi appunto hanno mascherato per la massima parte quel detrito morenico che dovrebbe ad ogni modo scoprirvisi in maggiore abbondanza, mentre la sua presenza è pure confermata dai massi erratici dispersi in ogni canto.

È appunto nel descritto tronco della valle della Sarca che mi si presentò per la prima volta in Italia un fenomeno che comincia ad acquistare dell' interesse per rapporto alla storia degli antichi ghiacciai, della cui esistenza ed estensione il fenomeno stesso è splendido testimonio. Parlo di quei pozzi verticali, rotondi, scavati nella viva roccia, i quali, già noti da lungo tempo al di là delle Alpi, furono battezzati dal volgo, e indicati dagli scienziati col nome di *marmitte dei giganti* (*Marmittes des géants*, *Riesenkessel*, *Riesentöpfe*), o con maggior verità con quello di *perforamenti di cascata* (*Strudellöcher*). Quei pozzi accennano evidentemente all'azione di una cascata, di un corpo d'acqua, che cadendo verticalmente sulla roccia, giovandosi principalmente dei massi a cui imprime un moto di rotazione, agisce a modo di trapano, a cui non resiste neanche la roccia più dura. Ma quei corpi d'acqua verticali, di cui le *marmitte dei giganti* rappresentano un lavoro potente e diuturno, appartenevano al genere comune delle cascate? Erano cioè semplicemente correnti d'acqua cadenti da una rupe che interrompa la pendenza regolare del letto di un torrente? Ciò andrebbe bene quando i pozzi trapanati si trovassero precisamente sul fondo delle valli, in corrispondenza coi letti dei rispettivi torrenti, ovvero con fondi di antiche valli, in corrispondenza coi letti di antichi torrenti, di cui rimangono ancora altre tracce. Ma quando in-

vece si trovano questi pozzi sui fianchi della valle, a grandi altezze sopra il letto attuale del fiume, senza nessun indizio che l'abbassamento del fiume sotto l'antico letto supposto sia da attribuirsi ad erosione (erosione che avrebbe del resto fatto scomparire col fondo del torrente anche le *marmitte* che vi eran scavate); bisogna cercarne la ragione altrove, attribuirla a cascate d'altro genere. Per buona ventura le stesse circostanze, che ci obbligano ad escludere le ordinarie cascate, come ragione di certi trapanamenti, ci conducono a riconoscerne la vera causa nella esistenza degli antichi ghiacciai, e precisamente nelle cascate d'acqua a loro particolari. L'acqua di disgelo che si forma alla superficie d'un ghiacciajo, scorrendo da prima in mille rigagni che divengono confluenti l'uno dell'altro; dà vita a diversi torrentelli, talvolta anche a un torrente di certa portata, che, non abbandonando mai la superficie del ghiacciajo, finisce a precipitarsi nel primo crepaccio che incontri per via. L'estremità superiore del crepaccio, dove avviene il salto del torrentello, sciolto dalla stessa acqua cadente, si allarga, si arrotonda, diventa un gorgo, un gran pozzo verticale, che trafora tutto il ghiacciajo dalla

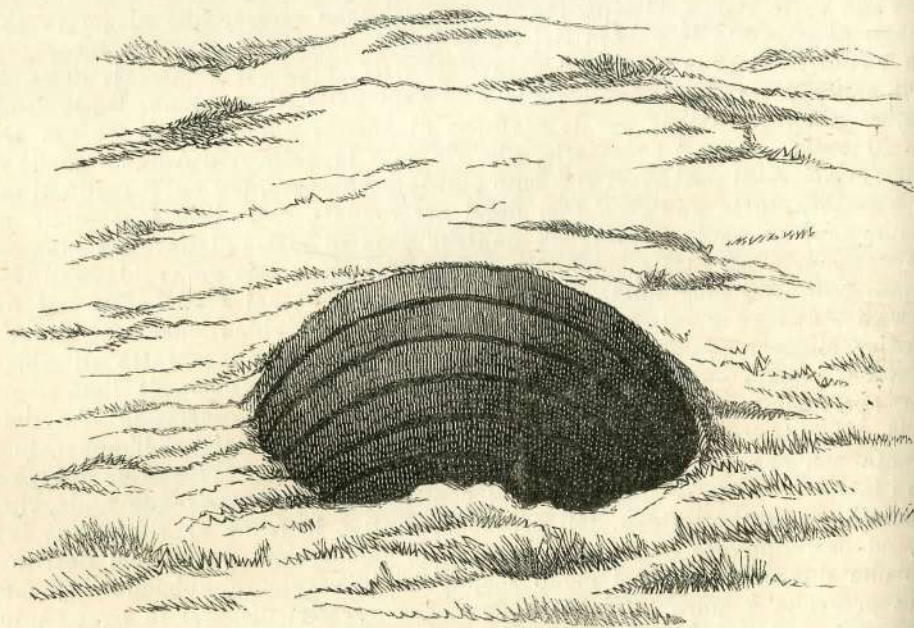



Fig. 30. — Pozzo glaciale di trapanamento sopra Vezzano.

superficie al fondo. Il torrente glaciale vien quindi a battere direttamente sulla roccia, che forma la valle percorsa dal ghiacciajo. Queste cadute d'acqua così fortuite e, direm anche, così temporanee, possono verificarsi tanto sul fondo della valle, quanto sui fianchi di essa, fino a quell'altezza a cui arriva il ghiacciajo che talvolta riempie la valle totalmente. Un anno, qualche mese, anche pochi giorni possono bastare perchè una di quelle cascate, diremo improvvisate, supplendo colla forza alle diuturnità, giovandosi dei massi cadenti dalle morene entro il baratro di ghiaccio, possa scavare un pozzo, una *marmitta* nella viva roccia, che abbia anche parecchi metri di larghezza e di profondità. Fatto sta che di tali marmitte se ne incontrano assai nei paesi che furono coperti dagli antichi ghiacciai, come per es. la Finlandia e la Svezia. Recentemente se ne scoprirono molte a nord-est di Lucerna, scavate nell'arenaria detta *molassa*. L'origine glaciale di quelle *marmitte* è qui evidentissima. Si scoprirono infatti levando il detrito superficiale, che copriva la roccia e riempiva le *marmitte*. Si trovò allora che la molassa era tutta arrotondata, striata , scanalata, e in fondo alle *marmitte* ve-

devansi ancora i massi erratici, talora molto grossi, ridotti alla forma di ciottoli arrotondati, che avevano servito al trapanamento.

Di tali *marmitte* se ne dovrebbe incontrare a ogni passo nelle regioni occupate da antichi ghiacciai. Per sventura è ben difficile che quegli antichi fori non siano turati o dal detrito glaciale, o dalle alluvioni, o dalle frane. Quando si rifletta che si tratta di buchi verticali, trapanati anticamente o sul fondo delle valli, o sui fianchi, dove esista un piano, o almeno un pendio e che i fondi e i fianchi delle valli sono guasti da secoli, sono ricoperti di morene, di frane, di alluvioni non foss'altro di terriccio locale, ecc. invece, di pretendere che il fenomeno appaja sovente, si vedrà come è quasi impossibile che si presenti anche una sola volta da sè. Ci vogliono veramente condizioni eccezionali perchè quei pozzi si presentino da sè senza appositamente cercarli. Ciò non avverrà mai nè sul fondo delle valli propriamente dette, perchè guasto o coperto da alluvioni; nè sui fianchi della valle che abbiano forma di pareti verticali, perchè non potevano nemmeno prodursi; nè sui pendii morbidi, perchè coperti da morene col ritirarsi dei ghiacciai. Aggiungi che la roccia non deve essere nè troppo molle, nè facile a franare, perchè l'erosione avrebbe già distrutto anche questi segni degli antichi ghiacciai, come ha già distrutto gli altri nei luoghi in cui le rocce facilmente si guastano. Le condizioni migliori perchè si scoprano le *marmitte dei giganti* saranno quelle di un pendio verso il fondo della valle percorsa dall'antico ghiacciajo, nè troppo erto, nè troppo facile, costituito da una roccia che abbia potuto resistere ai secoli, come i calcari compatti delle località dove ci troviamo, che conservano ancora così bene il liscio e le striature glaciali.

Questa e tutte le altre condizioni si verificano sul fianco sinistro della valle della Sarca precisamente a Vezzano, appena a nord del lago di Toblino. Quì in fatti il fianco della valle è costituito dal piano degli strati calcarei, inclinati verso il fondo della valle stessa, sotto un angolo di circa 45.°. La montagna è tutta nuda da quella parte, e presenta tosto allo sguardo non una, ma parecchie cavità che tutte hanno l'aria di quelle *marmitte* attribuite a trapanamento glaciale. Altre certamente se ne devono scoprire da chi non ci si trovi soltanto di passaggio una volta, come a me è avvenuto nello scorso autunno, tanto che ebbi appena il tempo di visitare quello tra i fori visibili da Vezzano che mi parve il più perfetto, e come tale aveva tosto attratto il mio sguardo, benchè non avessi veduto mai, come non vidi altrove finora nè in Italia nè fuori, le *marmitte dei giganti*.

La *marmitta* a cui alludo non può sfuggire all'attenzione di chicchessia, che o dalla via fra Toblino e Vezzano, o da questo stesso paese guardi la montagna nuda, di bianco calcare, che si leva a piano inclinato precisamente dietro il villaggio sul lato d'oriente. Ad un centinaio di metri, o forse meno sopra il piano del paese si osserva come una caverna che accenna a sprofondarsi verticalmente. Visitandola da vicino, trovai infatti che trattavasi di un foro apparentemente cilindrico e verticale, nettamente trapanato nella roccia calcarea. Siccome il pendio della montagna, formato dal piano superiore dei regolarissimi strati, è inclinato all'orizzonte oltre a 45° verso il fondo della valle; l'apertura di quella specie di tubo è obliqua nel verso della obliquità degli strati, sicchè rimane aperta sul davanti. Le interne pareti mostrano le testate degli strati, incisi circolarmente, in guisa che disegnano come altrettanti annelli sovrapposti, cui l'erosione meteorica ha resi alquanto convessi e ben distinti fra loro, come mostra la fig. 30. Il foro si allarga alquanto dall'alto al basso, ed ha la figura non propriamente di un circolo, ma di una elissi, il cui asse minore è di circa m. 4,50, avendone circa 7 il maggiore. Questo si trova nella direzione della valle, cioè nel verso del movimento del ghiacciajo. Tale accidente presentato da quel foro è in corrispondenza coll'origine di esso. Camminando in fatti il ghiacciajo nella direzione della valle, anche la cascata doveva lentamente progredire nello stesso senso: doveva quindi anche il foro nello stesso senso allungarsi, riuscendo ovale invece di circolare. La porzione visibile di esso foro, che discende tutto chiuso in seno alla roccia, tagliato obliquamente come abbiam detto, presenta a monte, dove è

più alto, una profondità di 5 a 6 metri, riducendosi a valle a circa mezzo metro soltanto. Termina con un fondo piano, formato dal terreno mobile, certamente d'origine glaciale, che forma il riempimento della parte più profonda, ora invisibile, del pozzo. Quel fondo si presenta come un praticello erboso. Farebbe cosa assai lodevole chi si accingesse a sgombrare quel pozzo dal terreno mobile che lo riempie, per vedere a quale profondità realmente discenda, rendendo in pari tempo visibile nella sua integrità uno dei monumenti più curiosi dell'invasione degli antichi ghiacciai. Certamente si troverebbero ancora sul fondo i ciottoli o i massi glaciali che hanno servito di trapano, e il paese di Vezzano avrebbe una meraviglia meritevole di essere visitata dai viaggiatori.

La fig. 30, eseguita sopra un semplice schizzo da me preso di passaggio, presenta il pozzo glaciale di Vezzano come si vede guardandolo dietro il paese un po' da vicino. La fig. 31 offre una sezione ideale dello stesso pozzo, che serve principalmente a mostrarne i rapporti colla stratificazione della montagna. La parte vuota, che realmente si vede, si prolunga colla parte riempita a cui fu

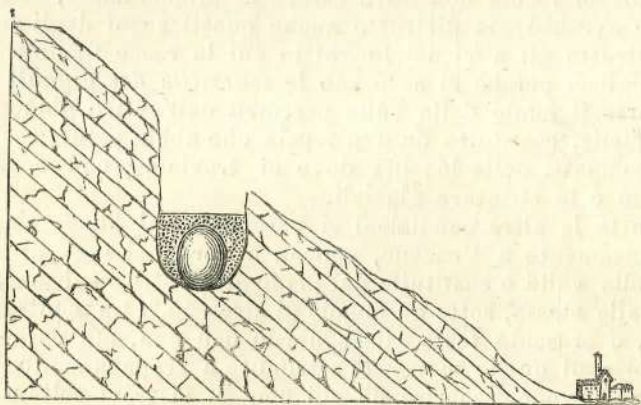



Fig. 31. — Sezione ideale del pozzo glaciale sopra Vezzano.

assegnata una profondità arbitraria, come arbitrariamente vedesi disegnato sul fondo un masso arrotondato, che dovrebbe aver servito di mezzo al trapanamento.

Nelle vicinanze, un po' a sud del pozzo descritto e figurato, veggonsi altre due *marmitte* appena abbozzate, poi una terza, molto simile a quella descritta.

Il gran ramo del ghiacciajo dell'Adige, che la digressione sulle *marmitte dei giganti* ci ha fatto dimenticare un'istante, percorsa la valle da Vezzano a Sarche, veniva a confluire col vero ghiacciajo della Sarca, il quale, dopo aver raccolti in uno i ghiacciai del M. Carrè, dei versanti orientali del M. Adamello, del M. Piscanno, e del M. della Rochetta, percorsa la val di Genova, e la val di Rendèna, sboccava nella Sarca, la quale in fine non è che il seguito delle due valli nominate. Il ritrovo dei due ghiacciai dell'Adige e della Sarca avveniva precisamente nello spazio occupato attualmente dal lago di Toblino, d'onde, riuniti in uno, percorrevano il resto della valle della Sarca, per giungere all'estremità settentrionale del lago di Garda, fra Torbole e Riva di Trento. Quest'ultimo tratto della valle della Sarca, contrariamente a quanto si osserva nelle altre valli subalpine, mostra quasi nessun indizio del passaggio d'un antico ghiacciaio. Il suo aspetto è dall'epoca glaciale in poi interamente cambiato. Forse nulla al mondo che presenti più vivo lo spettacolo del caos. Le frane, gli scoscendimenti, anche i più colossali, di cui le valli alpine ci offrono esempi ad ogni passo, non danno che una smorta imagine di quel subisso, di quelle cataste di massi prismatici d'ogni dimensione, spesso colossali, di quelle montagne di sfasciume, le quali rappresentano, si direbbe, altrettante montagne sfasciate lì per lì. Tale è l'aspetto

che presenta la Sarca, per forse tre ore di cammino, lungo la via detta delle *Marocche*. Quelle *marocche* consistono appunto in una lunga serie di colli, allineati nel senso della valle, sorgenti ordinariamente nel mezzo, cioè dal fondo della valle, composti di massi calcarei accatastati, nudi nudi, tra cui la Sarca dovette aprirsi il passo, direbbesi a viva forza, con cento giri e rigiri. Quelle montagne di rupi rappresentano una serie di scoscendimenti, o piuttosto un solo colossale scoscendimento delle montagne calcaree che fiancheggiano la Sarca a destra, e sorgono così nude, a picco, talora strapiombanti, a spigoli acuti, a sfaldature gigantesche, con tale aspetto insomma che si direbbe essersi jeri soltanto squarciati i fianchi di quelle montagne, ed avere il prodotto di quella frana mostruosa improvvisato jeri sul fondo della valle quelle montagne di rupi. Naturalmente colla roccia in posto venne a franare quel po' di detrito glaciale, il quale poteva essersi arrestato su quelle montagne già per sè scoscese; naturalmente scomparvero i lisci e gli arrotondamenti glaciali, sostituiti da fresche superficie di fratture; naturalmente il detrito morenico che ingombrava il fondo della valle o si appoggiava, sotto forme di morene laterali, ai fianchi di essa, fu coperto, e reso invisibile da quell'immane accumulamento delle frane. Si badi bene che quì non è il caso di quelle lente frane, le quali dovunque in seno alle Alpi veggonsi mascherare almeno parzialmente il detrito morenico. Quì trattasi, ripeto, di un grande scoscendimento, che ha abbattuto in un sol tratto una gran parte delle montagne, costituenti una grande formazione calcarea sulla destra della Sarca. Quelle cataste di rupi, tutte ugualmente fresche, dicono che il tutto rimonta alla stessa epoca, e fu l'opera di un sol giorno, forse di un solo istante. L'idea che le *marocche* rappresentano un solo grande scoscendimento, avvenuto certamente dopo l'epoca glaciale, mi venne suggerita dal prof. Taramelli; ed avendo visitato la località, parmi difficile di poterne riportare un'idea diversa da quella espressa dal mio ottimo amico. Si sarà notato principalmente che in luogo di essere semplicemente addossate alla montagna, formandone la base a scarpa, come tutte le frane ordinarie, le frane delle *marocche* coprendo da prima le basi della montagna calcarea, si rilevano dappoi verso il mezzo della valle, formandovi, come abbiam detto, quasi una catena di colline, allungata parallelamente alle valle stessa. Così deve avvenire nei casi di scoscendimenti repentini. Tra i massi che franano, e quelli che si arrestano già nel mezzo della valle, ha luogo, per mutua reazione, quello che si dice una risultante per cui i massi devono cambiare il moto orizzontale in verticale, accumulandosi in forma di collina (1).

(1) Il prof. Omboni pubblicò recentemente una Nota che ha per titolo *Gita alle Marocche fatta dai Naturalisti riuniti ad Arco nel settembre* 1874 (Arco 1875). L'autore vi riporta le diverse opinioni sull'origine di quella formazione, e vi sostiene la sua, la quale per vero non poteva attendersi da nessuno meno che da lui. Sostiene in fatti che le *Marocche* rappresentano le morene frontali dell'antico ghiacciajo della Sarca in ritirata. Che l'egregio professore non abbia mai osservato una morena?..... Ma se invece fu uno dei primi che studiassero il terreno glaciale sui versanti italiani, parlandone e scrivendone con perfetta cognizione di causa! Degni di tutta lode e veramente fondamentali sono i suoi scritti sugli antichi ghiacciai della Lombardia, già più volte citati in quest'opera. Dunque?... Bisogna dire che, a furia di osservare morene, ne veda anche dove non esistono; anche in ciò che può dirsi veramente negazione delle morene. È un fenomeno psicologico che si verifica sovente negli specialisti in ogni ramo di scienze. Sarebbe una morena frontale ben strana quella che corresse parallela alla valle invece di attraversarla; come strana ugualmente sarebbe una morena laterale che si tenesse ritta nel mezzo della valle, in luogo di appoggiarsi alle montagne che la fiancheggiano. Frontale poi o laterale che fosse, sarebbe sempre un problema una morena di ghiacciajo alpino tutta di massi angolosi, tutta quanta di roccie locali, mentre il signor Omboni sa benissimo che una morena, frontale o laterale, o mediana, nel punto in cui si trova rappresenta sempre e necessariamente la somma del detrito di qualunque genere, proveniente da tutte le masse rocciose a monte di quello stesso punto. È legge che non patisce eccezioni. Il detrito locale non potrà mai rappresentare altro che una parte del detrito componente la morena. Si pensi come doveva essere formata la morena frontale di un ghiacciajo che si dipartiva dalle cime granitiche del M. Adamello, senza tener conto del fatto che il ghiacciajo prevalente nella valle della Sarca, da Sarche a Riva di Trento, era indubbiamente quello dell'Adige, il quale colle sue morene porfiriche riempì il lago di Garda e la valle stessa della Sarca, non lasciando al ghiacciajo della Sarca propriamente detto che un posto affatto subalterno. Vorrei vedere del resto se una sola delle mille e mille morene dei ghiacciai alpini antichi e moderni abbia presentato al signor Omboni qualche cosa di somigliante a ciò che presentano le *Marocche*.

In mezzo a quel recente sfasciume tutto calcareo non restano visibili del terreno glaciale che ciottoli e massi sparsi qua e là, e come perduti fra le macerie (1).

Lasciando ora che il ghiacciajo della Sarca, ingrossato probabilmente più del doppio dal gran ramo del ghiacciajo dell'Adige, raggiunga il lago di Garda, torniamo per un momento al tronco dello stesso ghiacciajo dell'Adige sotto Trento, che prosegue, enormemente scemato di potenza, la sua via verso Roveredo.

Qui ancora, sulla destra del ghiacciajo, un' altra depressione; quindi un nuovo emuntorio, destinato ad accrescere il volume del ghiacciajo del lago di Garda, sempre a spese del ghiacciajo dell'Adige. Questo nuovo emuntorio è la valle di Mori, consistente in una intaccatura trasversale che congiunge la valle dell'Adige al lago di Garda. I suoi due sbocchi sono a Torbole dalla parte di ovest, e Mori dalla parte di est.

Quando arrivai il 9 ottobre 1875 allo sbocco della valle di Mori nell'Adige, era sera già tarda; non tanto però ch' io non potessi distinguere l'enorme morena d'ostacolo prodotta dal biforcamento del ghiacciajo dell'Adige contro lo sperone di montagna, che divide l'Adige dalla valle di Mori. Il fertile territorio di Tierno e di Mori deve a quella morena la sua esistenza. Mori stesso è edificato sul dorso di essa. Ciò che vidi benissimo di giorno è che il ghiacciajo si levava, non solo quanto bastasse a superare il colle per cui si discende poi al lago di Garda, ma quanto era sufficiente a riempire di ghiaccio tutta la valle fino all' altezza di molte centinaja di metri sopra la parte più elevata del fondo di essa valle. Tanto è evidentemente dimostrato dalle pareti della valle e dalle cime tutte calcaree arrotondate e lisciate. Il detrito glaciale è però scarso in seno alla valle, prima perchè sono quasi sempre verticali le pareti che la incassano, poi perchè frane numerose, talvolta colossali, mascherano il terreno erratico più antico. I massi erratici s' incontrano tuttavia sovente, con predominio dei porfidi rossi o violetti dell'alta valle dell'Adige. La porzione più elevata della valle di Mori, fra Loppio e Nago, forma una specie di lungo altipiano, o piuttosto una conca, sbarrata ad est, cioè a Loppio, da un rilievo formato da alluvioni torrenziali, e ad ovest, cioè verso Nago, dal rilievo delle frane, tra le quali vanno distinte due frane gigantesche, una a destra, l'altra a sinistra, che s'incrociano a vicenda un po' prima di arrivare a Nago. Quella conca dovette convertirsi in lago. Non credo che fra i laghetti alpini ve ne sia uno più pittoresco del lago di Loppio. Le frane, mentre gli composero un lido tutto penisole, seni e frastagli, gli eressero nel mezzo isole scogliose, convertite in boschetti a cui fanno vaga cintura alla base i giunchi lacustri.

Ad ovest del lago di Loppio tutto dimostra come il secondo ramo del ghiacciajo dell'Adige dalla valle di Mori si gettava, a modo di cascata, nel lago di Garda. Ciò è messo principalmente in evidenza da una catena di rupi calcaree, meravigliosamente lisciate e arrotondate, che attraversa, a modo di barriera, la valle di Mori, dove essa si apre, con salto repentino, verso il lago, sopra Torbole. Per comprendere meglio la cosa portiamoci direttamente a Riva di Trento, per ritornare di là fino al lago di Loppio, camminando lungo la riva settentrionale del lago di Garda.

Come dimostra la fig. 32, partendo da Riva di Trento, si fiancheggia una gran rupe isolata, che sorge nel mezzo fra il piano di Riva e le foci della Sarca. Quella rupe è composta di marne mioceniche, caratterizzate da una fauna copiosissima (2). La Sarca mette foce nel lago tra questa rupe e Torbole, edificato

(1) Nello scritto citato nella nota precedente il prof. Omboni dice che in mezzo a quelle montagne di massi calcarei trovansi sparsi (assai radi certamente) ciottoli e massi di granito, gneiss, micaschisti e porfidi, e ricorda come *fortuna* (fortuna singolare davvero trattandosi di morene tutte calcaree) che uno dei Naturalisti del Congresso d'Arco abbia trovato *un ciottolo* (!) lisciato e solcato.

(2) Ignoro se la fauna miocenica di cui sono ricchi gli strati che compongono, sulla riva del lago di Garda, l'eminenza isolata fra Riva di Trento e Torbole, abbia dato finora materia a qualche speciale lavoro. Quella fauna si compone principalmente di acefali marini e di polipai, che hanno tutta

appunto sul piano che rappresenta il delta lacustre della Sarca, il quale si distende fino al piè di una montagna tutta nuda, che presenta verso Torbole un piano inclinato regolarissimo. Quel piano inclinato corrisponde precisamente al piano in-

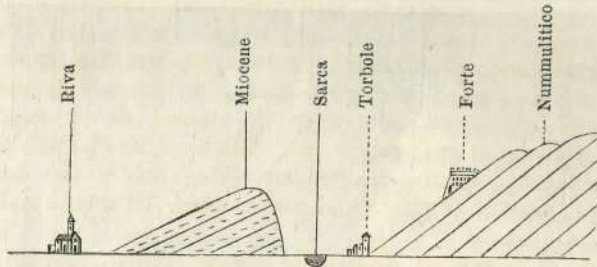



Fig. 32. — Spaccato della sponda settentrionale del lago di Garda.

clinato degli strati calcarei nummulitici (1) interamente scoperti. Da Torbole sale la via carrozzabile appoggiata al piano degli strati suddetti, fino al forte di Nago occupato dagli Austriaci, dove trovasi l'imbocco ovest della valle di Mori, in forma di gola incisa negli strati nummulitici normalmente alla loro direzione. Le pareti della spaccatura e le cime sovrastanti sono stupendamente arrotondate e lisciate. Prescindendo da questa gola o spaccatura, la valle di Mori è tutta chiusa da quella parte, mediante gli strati nummulitici, i quali, rilevandosi sopra il suo fondo, formano quasi una cortina trasversale alla valle in direzione da sud a nord. Questa cortina, che originariamente constar doveva di lame e denti, corrispondenti alla spaccatura degli strati calcarei durissimi, fu naturalmente sormontata dal ghiacciajo che veniva a riversarsi nel lago di Garda, e mostrasi ora sotto la forma di una catena composta di dorsi arrotondati. Quella catena, partendo dalla parete meridionale della valle di Mori, termina a Nago, sormontata dalle pittoresche rovine di un antico castello. La fig. 33 presenta uno schizzo, preso di passaggio, di questa località interessante. La veduta è presa stando sulle frane che sbarrano ad ovest il lago di Loppio, volgendo il dorso al lago stesso e guardando verso Nago. Così appare benissimo sullo sfondo la cortina di colli arrotondati, su cui torreggiano le rovine dell'antico castello (2).

Così all' estremità settentrionale del lago di Garda, il ramo sud del ghiacciajo dell'Adige confluiva col gran ghiacciajo della Sarca che vi arrivava, come abbiamo visto, composto del gran ramo settentrionale dello stesso ghiacciajo dell'Adige e del ghiacciajo della Sarca propriamente detto. Ma qui al tempo stesso questa specie di mostro a tre teste si appropriava la massima parte di un quarto ghiacciajo, cioè, come pure abbiam detto, del ghiacciajo del Chiese. Difatti, quasi esattamente di fronte allo sbocco ovest della valle di Mori, si incontra lo sbocco est della valle di Ledro, la quale discende al lago di Garda per la stretta gola di Ponal. Rimontando questa valle dal lago fino a Molina e Barcesino, la si vede formare una specie di altipiano, il quale, prolungandosi verso nordovest, riunisce la val di Ledro, versante nel lago di Garda, alla valle Am-

l'aria dei fossili miocenici del Vicentino e d'altre località europee. Io ci raccolsi molte specie che meriterebbero di venir illustrate, tanto più che si tratta d'un deposito miocenico portato quasi nel cuore delle Alpi, a differenza di quanto si osserva generalmente in Italia.

(1) Oltre alle nummuliti, di cui quei calcari sono talvolta un impasto, vi trovai l'*Ostrea gigas*, tanto caratteristica del terreno nummulitico, radioli di Cidariti ed altri organismi.

(2) Le diverse parti del paesaggio, presentate dalla fig. 33, sono alquanto spostate arbitrariamente per presentarne al lettore l' insieme. Per vedere realmente, come si vede nello schizzo, l' estremità occidentale del lago di Loppio, poi le due frane incrociate che lo sbarrano ad ovest, poi la catena di colli arrotondati colle rovine del castello di Nago, bisognerà scegliere un punto di vista più internato verso est nella valle di Mori, e abbastanza elevato sul lago, al cui livello le rupi arrotondate sono nascoste dalle frane.

pola che versa nel Chiese, piegandosi verso sud-ovest. Il ghiacciajo del Chiese, partendo dalle cime del M. Adamello, una volta arrivato a Storo, si trovava aperta sulla sinistra la valle Ampola. Doveva quindi biforcarsi, continuando il

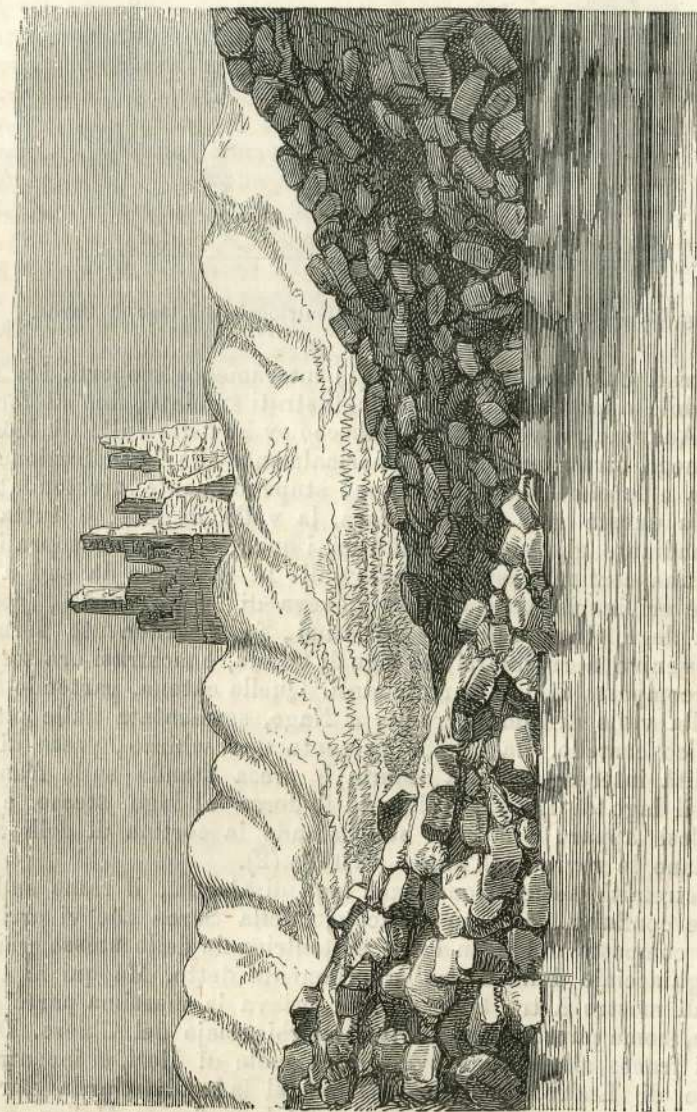



Fig. 33. — Catena di colli arrotondati sopra Nago nella valle di Mori.

suo tronco verso sud-ovest per la valle del Chiese, mentre un gran ramo, forse più grosso del tronco, si staccava verso est, per la valle Ampola, e percorsa la valle di Ledro, si gettava, per la gola del Ponal, nel lago di Garda, ingrossando l'immane ghiacciajo, che già ne colmava l' abisso. Le lisciature e gli arrotondamenti delle rupi nella valle di Ledro sono tutti in questo senso. I massi erratici di tonalite (1), provenienti dal M. Adamello, segnano con traccia evidente il passag-

(1) La tonalite è una specie di granito, composto di feldspato, quarzo e mica, a cui si aggiungono copiosi cristalli di orniblenda verde-scura, o piuttosto nera, in colonnette corte e grosse. Ne è composta la massa del M. Adamello a sud del passo del Tonale, da cui questa roccia trae il suo nome. I massi di tonalite sono sparsi a milioni nella valle di Ledro e nella gola del Ponal. Sono utilizzati in larga scala per l'edilizia.

gio del ghiacciajo del Chiese al lago di Garda (1). Noi troveremo questi massi di tonalite abbondantissimi nelle morene che formano l' estremità dell' anfiteatro sulla destra del lago, fra Gavardo e Salò. E questo è ben naturale; mentre il ghiacciajo del Chiese, unendosi a quello del lago di Garda, doveva occuparne l'estrema destra, e trovarsi poi appunto in corrispondenza coll' estrema destra dell'anfiteatro morenico.

Quanti rilievi interessanti si potrebbero fare sul terreno glaciale, che occupa i due versanti dell'unica valle, chiamata valle Ampola a ovest e val di Ledro ad est! Accennerò almeno a due laghi di sbarramento morenico, l'uno, cioè il lago di Ledro, sul versante orientale, l'altro, cioè il piccolo laghetto presso Tiarno, sul versante occidentale. Per cominciare dal primo, dirò come, salendo da Riva di Trento a Ledro (forse 600 m. sul livello del lago di Garda), s' incontra subito dietro al paese un grande accumulamento morenico. Evidentemente rappresenta esso una morena frontale deposta dal ghiacciajo del Chiese, quando si batteva già in ritirata per ritornare, per la valle di Ledro, a' suoi nativi recessi. Il lago di Ledro, che si trova immediatamente dietro la morena, non rappresenta altro che lo scolo dei torrenti della val di Ledro, che si arresta dietro la barriera, cui dovette incidere profondamente per crearsi un emissario, il quale non è altro che il torrente che discende per la gola del Ponal. Il lago di Ledro è un vero modello di lago di sbarramento morenico. Fiancheggiato da montagne dolomitiche a picco, non è chiuso ad est che dalla descritta morena che attraversa la valle, formando una collina lineare, tutta erbosa, alta forse 60 m. sul fondo della valle. L'emissario del lago l'ha incisa proprio nel mezzo, ma a gradinata. Evidentemente l'incisione si operò a lunghi intervalli. Lo mostrano i meravigliosi terrazzi lacustri regolarissimi, paralleli, alti ciascuno da 1 a 2 m., che circondano il lago, dandogli la forma di arena, di un anfiteatro irregolare, circondato da una gradinata. Il numero dei gradini è di 3, di 6, di 8, secondo che il lago trovò ad una altezza maggiore o minore detrito morenico, o terreno mobile da terrazzare.

Ad ovest nel lago di Ledro, passato il paese di Pieve, dove l'acqua comincia a scorrere verso il Chiese, il fondo della valle è una lunga pianura, ben livellata, a fondo di argilla e di terriccio nero, come torboso. Evidentemente quell'altipiano era un altro lago, con emissario opposto a quello di Ledro, sostenuto da qualche morena frontale del ghiacciajo del Chiese, la quale sbarrava la valle Ampola. Anzi di quel lago di sbarramento morenico abbiamo un residuo nel piccolo laghetto presso Tiarno, e tosto dietro ad esso una morena trasversale alla valle, come l'altra, incisa dall'emissario (2). Più oltre la valle fino a Storo non è che una stretta gola incassata nelle dolomie.

(1) Non ho potuto verificare se i massi di tonalite siano discesi anche per la valle della Sarca, la quale ha le sue sorgenti sulla base nord-est del gran gruppo del M. Adamello. Si potrebbe a ogni modo sospettare che, invece della confluenza del ghiacciajo del Chiese nel lago di Garda per la valle di Ledro, si verificasse, per la stessa via, la confluenza del ghiacciajo del lago di Garda nella valle del Chiese. Questo sospetto è già levato dal fatto che l'antico ghiacciajo del Chiese era relativamente poco sviluppato al disotto dell'apertura della valle Ampola, come meglio vedremo più tardi. Del resto è legge imprescrittibile che la confluenza dei ghiacciai, come quella dei fiumi, si verifichi verso il punto più basso, ossia entro la maggiore depressione a cui può mettere capo un sistema di confluenti. Questo sia detto tanto per riguardo all'antico ghiacciajo del Chiese, quanto per riguardo ai due rami descritti del ghiacciajo dell'Adige. Il lago di Garda, prescindendo dall'idea che fosse nell'epoca glaciale un braccio di mare, è sempre una fossa della profondità assoluta di 800 m., e depressa oltre a 700 m. sotto il livello del mare. I diversi ghiacciai confluenti (ghiacciai del Chiese, della Sarca e dell'Adige) dovevano naturalmente livellarsi fra loro a una certa altezza, come fanno attualmente tutti i grandi ghiacciai alpini, che risultano dalla riunione di parecchi confluenti. Il ghiacciajo ramificato, o piuttosto reticolato, ma unico che ne risultava, doveva tutto necessariamente tender verso la parte più bassa, che era anche larghissima e affatto libera; doveva cioè volgersi tutto verso il lago di Garda, il quale era come un'immensa cloaca, che andava riempiendosi col tributo di tutti i canali che servivano di scolo ai diversi ghiacciai. È dunque indubitato che la confluenza dei ghiacciai del Chiese e dell'Adige si verificò sempre verso il lago di Garda, nè mai viceversa, come è del resto dimostrato da tutti gli accidenti dell'apparato glaciale in quella regione, e nominatamente dall'enorme sviluppo, veramente eccezionale, dell'anfiteatro morenico del lago di Garda.

(2) Mancando di buone carte, ed essendo già sera quando percorsi la valle di Ledro a dì 11 ottobre 1875, non ho potuto ben precisare ciò che riguarda il laghetto di Tiarno.

Ritornando un'altra volta al grande ghiacciajo del lago di Garda, esso, benchè si trovi ancora all'estremità settentrionale del lago, ha ricevuto tutti i suoi confluenti, e risulta composto di quattro grandi ghiacciai o rami di ghiacciai, che sono, nominandoli da destra a sinistra:

1.° Estremo a destra. — Ghiacciajo del Chiese.

2.° Medio a destra. — Ghiacciajo della Sarca.

3.° Medio a sinistra. — Ghiacciajo dell'Adige, ramo di Trento.

4.° Estremo a sinistra. — Ghiacciajo dell'Adige, ramo di Roveredo o di val di Mori.

Non ci voleva meno della somma del ghiaccio portato da tre grandi vallate glaciali, per colmare l'abisso di quel lago, che ha per lo meno 800 m. di profondità, per levarsi altre centinaja di metri sopra il suo attuale livello, ed erigere alla sua estremità meridionale quell'enorme anfiteatro, vasto così che il lago, occupando l' arena di quel vasto circo, si presenta come un piccolo mare. Ancora però sarebbe difficile di spiegare la potenza straordinaria di quel cumulo semicircolare di detrito, se il lago di Garda, considerato in rapporto cogli antichi ghiacciai, non offrisse certe specialità che lo distinguono dagli altri laghi lombardi.

Tutti i grandi laghi dell'Italia subalpina sono *laghi di chiusa*: riempiono cioè ciascuno una porzione di una spaccatura, trasversale al sistema delle montagne, e sono quindi per lo più fiancheggiati da pareti verticali o da monti a ripidissimo pendio. Esistono però dovunque grandi seni laterali, od anche valli molto depresse, per le quali poterono staccarsi dall' antico ghiacciajo certi rami, che andarono a perdersi altrove, senza più ricongiungersi al tronco. Il lago Maggiore, p. e., oltre i grandi seni, presenta diversi larghi emuntorî, come quelli della valle della Tresa, per cui un gran ramo dell'antico ghiacciajo andava a perdersi nel lago di Lugano, e come l' altro del lago d'Orta, per cui deviava un altro gran ramo del ghiacciajo, e si fermava, edificando un anfiteatro suo proprio, all'estremità meridionale del lago suddetto, appena congiunto coll'arco più occidentale al principale anfiteatro. Da qui una gran perdita di detrito morenico a danno del vero anfiteatro dell'antico ghiacciajo del Verbano. Sui fianchi del lago di Como, riempiti di morene, troviamo i grandi seni del Varrone, della valle di Esino, della Valsassina, e altri assai, oltre i due vasti emuntorî di val Menaggio e val Intelvi, per cui un'enorme porzione del ghiacciajo e delle rispettive morene andava a perdersi nel lago di Lugano. Il lago d'Iseo presenta lateralmente i seni molto capaci della valle del Dezzo, di Vigolo, di Marone, di Tassano, ecc., poi quel largo emuntorio che è la valle Cavallina. Il lago di Garda invece, il cui antico ghiacciajo godeva di così enormi confluenti, non presentava poi nè seni appena considerevoli (1), nè alcun emuntorio od emissario parziale. Incassato dovunque da montagne a picco, non aveva a temere nessuna perdita di ghiaccio o di detrito lungo la via, e tutto intero arrivava al suo sbocco, con tutto l'enorme carico delle morene, in parte sue, in parte, anzi per una parte assai maggiore, portategli in tributo dai grandi ghiacciai dell'Adige e del Chiese.

Per avere un' idea di questo stupendo anfiteatro di colli morenici, basta qualunque mediocre carta topografica. Quella poi dello Stato maggiore austriaco mette in tale evidenza quella immensa mezzaluna, formata di tanti archi concentrici di colline moreniche, riempita dal lago nella sua parte concava, e cinta ovunque dalla pianura nella sua parte convessa, che, chiunque vi fermi sopra l' occhio attento, anche ignaro totalmente del fatto, deve dire: questo è un anfiteatro morenico.

Mi guarderò bene dal descriverne appena con certa abbondanza i particolari. Ci vorrebbe un grosso volume. Accontentiamoci quindi soltanto dei tratti più generali.

Si immagini un gran terrapieno ad arco ogivale, il quale cominci ad ovest

(1) Valli laterali appena considerevoli, come quella di Michele, di Toscolano, non si trovano che sulla destra; ma piuttosto che valli sono anguste gole, entro le quali soltanto una piccola quantità di detrito glaciale poteva insinuarsi e arrestarsi.

appoggiandosi alle falde del M. S. Bartolomeo a nord del golfo di Salò, continui verso sud fino a Castiglione delle Stiviere, poi si ripieghi verso sud-est fino a Volta, quindi verso nord-est fino a Sommacampagna, e termini, dirigendosi verso nord finchè vada ad appoggiarsi al basso delle montagne (catena del M. Baldo) che limitano a nord il piccolo golfo di Garda.

Il terminare delle montagne rocciose a mezzodì, e il cominciare dell'anfiteatro morenico che parte dalle loro basi per compire a mezzodì la cintura del lago di Garda, è fenomeno chiarissimo, parlante e molto istruttivo, tanto all' estremità occidentale del suddetto anfiteatro nei dintorni di Salò, quanto all'estremità orientale a Garda. Discendendo difatti per la valle del Chiese, passando da Vobarno a Pompighino, si presenta immediatamente sulla sinistra l' esterna convessità di una cerchia morenica, che si appoggia alla base del monte Tratto a Gazzane, e continua sulla sinistra del Chiese verso Villanova, involgendo la base del monte Còvolo, che è calcare, e proseguendo ad est del piano di Gavardo. La via trasversale da Volciano a Salò, misura la grossezza del muraglione, e segna la linea di distacco fra le montagne rocciose e le colline moreniche, mediante un sistema abbastanza vasto di erosioni e di alluvioni torrenziali. Ancora più netto è il fenomeno all'altra estremità sopra Garda. La catena del M. Baldo termina bruscamente con una scogliera a picco fra S. Vigilio e Garda. La troncatura, dipartendosi dal lago a Garda, si interna verso nord-est fino a Caprino e anche più in su. L'anfiteatro morenico, che si appoggiava naturalmente a quella scogliera, ne fu disgiunto dalla erosione, praticata dal torrente Tesino, che, menando a ruba il detrito glaciale, lasciò tutta nuda la montagna calcarea sulla sua destra, mentre sulla sinistra, previa una valle di erosione, spicca netto l'anfiteatro morenico in foggia di enorme muraglia. Il fenomeno è chiaramente espresso dalla tavola XVIII, che ci presenta appunto la veduta est dell' anfiteatro morenico sopra Garda in corrispondenza colla montagna, da cui è disgiunta unicamente da una valle di erosione.

L'arco descritto però non segna che il limite esterno di quell'anfiteatro che io chiamerò interno per rapporto alla grande morena frontale incompleta, che rappresenta un anfiteatro esterno, cioè una cerchia morenica parallela e concentrica all'altra tracciata, ma assai più avanzata verso la pianura, e divisa dall'altra interna per mezzo di una pianura interna, o piuttosto di un piano semicircolare della larghezza di 6 a 7 chilometri. L' anfiteatro esterno si compone di una sola grande morena frontale, che congiunta, quasi in un sol nodo, alle altre interne, all'estremità nord-ovest dell' anfiteatro fra il Chiese ed il golfo di Salò, se ne stacca dappoi, delineando una lunga serie di colli, che vanno sempre isolandosi ed individualizzandosi, e formano finalmente verso mezzodì come una grande muraglia arcuata, che si alza di mezzo al piano. L'arco esterno di quell'immenso rudere di smisurata morena frontale è disegnato, prescindendo dalle sinuosità, dalla sponda sinistra del Chiese. Numerando successivamente da nord a sud le colline in cui si spezza quel grande rilievo arcuato, incontriamo dapprima, sempre sulla sinistra del Chiese, le colline di Gavardo, di Mosioline, di Terzago, Calvagese e Macasina. Qui la morena frontale si stacca meglio dalle interne, e il piano s'inframmette fra queste e quella. La cerchia morenica appare pertanto meravigliosamente individuata in quella catena lineare di colline, che corre da Macasina a Bedizzole, da Bedizzole a Ponte S. Marco, dove è tagliata dalla ferrovia Brescia-Desenzano, da Ponte S. Marco a Calcinato, da Calcinato a Montechiaro, da Montechiaro a Carpenedolo, dove la morena si tronca d'un tratto bruscamente, e il piano interno confluisce coll'esterna pianura. Evidentemente questa porzione di arco di cerchio, della lunghezza di oltre 30 chilom., rappresenta la porzione ovest di un grande arco di 100 chilom. e più, disegnato in origine da una grande morena frontale, la quale rappresenterebbe la fronte più avanzata del grande ghiacciajo del lago di Garda nel periodo degli anfiteatri. Quella morena, girando parallelamente all' anfiteatro interno, doveva avanzarsi nell'area, ora occupata dalla pianura fin presso a Goito, per ripiegarsi in seguito sopra Villafranca, e attraver-

sare l'Adige a Pescantina, per andare finalmente ad appoggiarsi alle montagne che chiudono verso nord la val Policella. Quella enorme morena fu certamente o sommersa o distrutta dai fiumi, prestando il materiale alla pianura che formossi in seguito. Noi tratteremo più tardi la questione in questo senso. Osservo intanto che la val Policella, fra S. Ambrogio, S. Piero Incariano, Negarine e Pescantina, non mi si presentò altrimenti che come un enorme riempimento morenico, presentemente tutto terrazzato dai torrenti che scendono dalle montagne verso l'Adige. Questo riempimento morenico corrisponde evidentemente alla estremità est della grande morena esterna, soltanto terrazzata sulla sinistra dell'Adige, e sulla destra distrutta, ossia adeguata. L'anfiteatro morenico del lago di Garda ha dunque la forma, come dissi, di un grande rilievo a mezzaluna, il quale si spingeva col punto di sua massima convessità fin presso Goito, misurando in questo senso una larghezza di circa 20 chilometri. Era costituito da una grande morena frontale esterna, il cui arco misurava almeno 100 chilometri, e da un anfiteatro interno, composto di più morene frontali, il quale misurava esternamente un arco di circa 80 chilom. Questo anfiteatro interno reclama una descrizione più particolareggiata, e la offriamo di buon grado al lettore.

Esso è regolarissimo, e tutto intero, salvo quella linea sulla quale fu trapassato dal Mincio. Appena lo sguardo cada su quell'anfiteatro, guardandolo, p. es., dalla torre di Solferino, esso non presenta che un gruppo di innumerevoli colline, intersecate da migliaja di piccole valli, scavate dai torrentelli locali. Ben osservando però, tutte quelle colline trovano il loro posto, distribuendosi sopra un certo numero di archi concentrici, rappresentando così altrettante morene frontali. Quei cerchî si riducono a tre principali.

1.° Cerchia esterna o perimetrica dell'anfiteatro interno. È la gran cerchia già descritta di Lonato, Castiglione, Cavriana, Volta, Sommacampagna, Pastrengo, ecc. Sulla vetta più eminente si rizza la torre di Solferino, come faro, che non si perde mai di vista ovunque si giri a 30 miglia di raggio. Questa gran cerchia morenica è formata da un certo numero di ondulazioni concentriche, talora distintissime, numerandosene fino a 20.

2.° Cerchia media interna, distintissima nella parte occidentale. Si stacca dai colli a sud di Padenghe; gira dietro Desenzano, torcendosi poi verso Monzambano. Qui è difficile distinguerla dalle altre due cerchie, tale è il viluppo dei colli e delle valli moltiplicati dalla erosione. Meglio distinta è poi dove la seconda cerchia prosegue verso Castelnuovo, Pastrengo, ecc. Anche questa cerchia morenica numera una quantità di ondulazioni concentriche.

3.° Cerchia interna, distinta dalle altre, e assai più guasta dall'erosione. Nasce per così dire fra Desenzano e Rivoltella; si volge verso la storica collina di San Martino; di là si piega a sud di Peschiera, formando il gruppo morenico di Ponti, d'onde procede verso Cavalcaselle e Lazise.

L'effusso delle acque pioventi in quel vasto anfiteatro, ha un movimento retrogrado, in confronto alla valle del Mincio, come avviene sempre in seno agli anfiteatri che sbarrano una valle qualunque. Quindi erosioni e alluvioni in numero infinito, in direzione dall'anfiteatro al lago. Le sponde meridionali del lago stesso presentano una grande pianura più o meno accidentata, che rappresenta la somma dei detriti trascinati dalle acque verso il lago, e depostivi a formarne la spiaggia attuale.

In mezzo a tante morene, che determinavano coi loro opposti pendii altrettante depressioni semicircolari perfettamente chiuse, chi sa quanti stagni dovettero primitivamente formarsi? Restano ancora, rappresentanti di un numeroso sistema di laghi intermorenici, i laghetti di Casino, Castellaro e Peschiera. Altri cento sono rappresentati da altrettante torbiere interne (1).

(1) Il colonnello Maineri ha eseguito, per ordine del Ministero della guerra, un magnifico rilievo di una vasta porzione dell'anfiteatro morenico, quella precisamente che fu il campo della gran battaglia del 24 Giugno 1859. Il lavoro doveva estendersi a tutto l'anfiteatro, per graziosa concessione

L'anfiteatro morenico del lago di Garda presenta una specialità molto meritevole di considerazione in ciò che riguarda la classica penisola di Sermione. Essa veramente, più che penisola, è un'isola anche attualmente, per la fossa artificiale che mette in comunicazione i due grandi golfi terminali del lago di Garda sotto le mura del castello che sta sull'ingresso del paese di Sermione. Lo era poi senz'altro quando l'antico ghiacciajo giungeva a colmare il lago, o piuttosto, come vedremo più tardi, quel gran *fiord* o braccio di mare, di cui il lago non rappresenta che un residuo. L'antico ghiacciajo stesso quando, giunse a dar di cozzo nell'isola, dovette naturalmente biforcarsi. La cosa tuttavia dovette avere ben poca influenza sull'andamento del ghiacciajo durante il periodo del suo maggiore sviluppo, quando cioè andava edificando il suo molteplice anfiteatro. Prendendo misura dalle colline di Volta, Solferino, Pozzolengo, ecc., in tutto il suddetto periodo l'isola di Sermione doveva trovarsi sepolta sotto il ghiaccio a non mediocre profondità. Ma quando il ghiacciajo si ritirava, quando la sua fronte coincideva approssimativamente colla spiaggia attuale del lago, l'isola di Sermione dovette emergere dal ghiaccio, dividendo in due la fronte del ghiacciajo. La morena frontale di questo doveva perciò formare un'ansa, girando attorno all'isola, e l'ansa stessa doveva riempirsi di detrito morenico, formando una morena mediana, corrispondente all'attuale penisola. Quella lingua di terra, od istmo allungato, che congiunge al presente l'isola al lido, è in fatti una vera morena. Essa si rileva a schiena d'asino parecchi metri sul livello del lago, fra Peschiera e Rivoltella, dove è scavalcata dalla via maestra, e di là si spinge dritta, abbassandosi e assottigliandosi sempre, finchè muore quasi in punta sotto le mura del castello, demolita sopra ambedue i lati dalle onde del lago, sotto il quale forma dall'una e dall'altra parte un largo basso fondo. Continua però oltre il castello, costituisce tutta l'area coperta dall'abitato di Sermione, e va ad addossarsi alla punta meridionale di quel rilievo triangolare roccioso, alla cui estremità settentrionale sorgono le grandiose rovine delle così dette *grotte di Catullo*. La fig. 34 mette in luce i rapporti del terreno glaciale col rilievo roccioso della penisola.

Fig. 34. — Spaccato geologico della penisola di Sermione (1).

L'esistenza di essa è quella che dà ragione della forma singolare che presenta la porzione meridionale del lago di Garda, corrispondendo indubbiamente i due

del suddetto Ministero; ma venne sospeso per gli avvenimenti della guerra nel 1866. La porzione eseguita è tuttavia più che sufficiente a dare un'idea dell'orografia singolarissima di quella regione, ed offre alla scienza il miglior saggio scolastico, che possa servire a mettere in evidenza la forma in generale, e tutti gli accidenti di un anfiteatro morenico. È da desiderarsi ardentemente che il R. Ministero faccia eseguire copie di quell'egregio lavoro, per distribuirle alle scuole superiori, in servizio delle cattedre di geografia, di geologia, di storia e di tattica militare. Opera ancora più degna farebbe il Ministero richiamando in vita le disposizioni già date prima della guerra del 1866 per la continuazione del lavoro, il quale dovrebbe estendersi a tutta l'area compresa fra il Chiese e l'Adige, pigliando per limiti a nord il golfo di Salò, e a sud i colli di Volta. Quale saggio stupendo di rilievo topografico e geologico ad un tempo!

(1) La penisola di Sermione offre, in serie discendente, i terreni seguenti:

a) — Morena composta di porfidi bruni, rossi, violetti, di melafiri, graniti porfiroidi, graniti a minuti elementi, puddinghe, ecc., con ciottoli stupendamente striati;

golfi gemelli, in cui essa è divisa, ai due archi frontali dell' antico ghiacciajo, obbligato dalla penisola a biforcarsi.

Uno studio interessante, ma tutto da farsi, è quello della distribuzione del detrito erratico componente l'anfiteatro, in ordine alla rispettiva provenienza. Io non potei fare che qualche osservazione generale. Osservai, p. es., che nella parte occidentale, dove l'anfiteatro si svolge sulla sinistra del Chiese, sono abbondantissimi i massi di tonalite, che scompajono invece verso la parte media dell' anfiteatro stesso. Nella parte media, come ho potuto verificare andando da Peschiera a Pozzolengo, e da Pozzolengo a Solferino, compajono abbondanti i porfidi bruni o violetti, provenienti dall'alta valle dell'Adige, misti a vere cataste di calcari bianchi e dolomitici, che derivano certamente dalla porzione settentrionale del lago di Garda e dalla valle della Sarca. La tonalite più non appare. Verso est da Monzambano a Pastrengo si osserva l'assoluto predominio dei porfidi tirolesi, bruni, rossi e violetti, con graniti a grana minuta e porfiroidi, melafiri e puddinghe. Questi pochi dati ci conducono a ritenere che uno studio più particolareggiato ci permetterà di tracciare con tutta precisione l'andamento e i confini dei singoli ghiacciai componenti il grande ghiacciajo del lago di Garda. Troveremo che il ramo del Chiese colla sua morena destra e la sinistra confusa colla destra del ghiacciajo della Sarca, venne assai presto respinto sulla destra del ghiacciajo principale ad ovest, dando origine alle colline moreniche, che fiancheggiano il bacino occidentale del lago di Garda, fra Salò e Desenzano; che il ghiacciajo della Sarca, in unione coi due rami di quello dell'Adige, provenienti dalla valle della Sarca e dalla val di Mori, composero quella parte di anfiteatro che chiude a mezzodì il lago di Garda fra Desenzano e Peschiera; che i due rami citati del ghiacciajo dell'Adige, principalmente quello della val di Mori, composero il resto dell'anfiteatro morenico ad est da Peschiera a Garda.

b) — conglomerato composto principalmente di porfidi, appartenenti alla suddetta varietà, e di ciottoli di calcare nummulitico, tenacemente cementati;

c) — sabbie marnose con letti o strisce di ciottoli ;

d) — marne bianche o rossigne, con fuchi a spirali giganteschi (*Zoophychos*), e conchiglie indeterminate, sparse di piromaca.

Il conglomerato *b* si potrebbe confondere colla morena sovrapposta, essendo l'una e l'altro composti principalmente di porfidi. È facile però anche il distinguerli osservando che il conglomerato è reso compatto da un cemento calcareo enormemente sviluppato; che è tutto composto di ciottoli rotolati di forma torrenziale ; che i ciottoli stessi sono distribuiti in letti abbastanza distinti, secondo il rispettivo volume; che non contiene ciottoli striati. Più di tutto serve a distinguere il conglomerato dalla morena sovrapposta l'osservare che il conglomerato stesso è veramente porfirico soltanto nella parte inferiore, prevalendovi i porfidi violetti, con qualche ciottolo di granito. Nella parte superiore i porfidi si diradano e prevalgono i calcari. Anzi si può dire che gli strati supremi del conglomerato presentano la forma di una vera puddinga, composta quasi unicamente di piccoli ciottoli di calcare bianco, nummulitico. Ne raccolsi uno che era tutto un impasto di bellissime nummuliti.

Le marne possono ritenersi mioceniche, essendo affatto simili a quelle che si trovano sulle sponde occidentali del lago superiormente ai calcari nummulitici, che vi sono sviluppatissimi. Il conglomerato apparterrebbe dunque per lo meno all'ultimo periodo del miocene, e probabilmente al pliocene. Esso rappresenterebbe uno di quei delta pliocenici, edificati in quell' epoca dai torrenti alpini, che si mostrano distinti in tanti luoghi ai piedi delle Alpi, o coperti dal terreno glaciale o nudi negl' intervalli che separano gli anfiteatri morenici. È certo intanto che le marne mioceniche erano già sollevate, e formavano parzialmente il rilievo delle coste del mare pliocenico, quando si deponeva il conglomerato di Sermione. Scôrsi infatti, chiuso perfettamente in seno al conglomerato, un masso quadrato, della potenza di circa 1 metro cubo, a spigoli intatti, che appartiene evidentemente alle marne, o calcari marnosi, del miocene descritto. Osservai inoltre nelle marne di Sermione un crepaccio, della larghezza di circa 2 metri, riempito da quello stesso conglomerato che a loro si addossa. Il conglomerato, che io ritengo pliocenico, è poi assolutamente preglaciale, come quello che è coperto dalla morena. Anzi la *chiusa*, cioè la enorme spaccatura, occupata oggi dal lago, e prima dal ghiacciajo, si formò certamente dopo che il conglomerato era deposto. Esso infatti costituisce, unitamente alle marne mioceniche, la sponda a picco del lago, tanto nella penisola di Sermione, quanto sulla riva occidentale, dove rappresenta certamente la parte di una spaccatura, della profondità misurabile di circa 1000 metri, continuando verso nord colla parete nummulitica di Moniga, Rocca di Manerba, Isola Lechi ecc., quindi coi calcari e colle dolomie antiche fino a Riva di Trento e nella valle della Sarca. Sulla punta settentrionale della penisola di Sermione, dal lato di est, a distanza di qualche centinajo di metri dal lido, pullula dal fondo del lago un gaz con odore di solfo, in corrispondenza al certo col fondo delle grandi crepature a cui deve primitivamente la sua origine il lago di Garda.

8. Sistema dell'antico ghiacciajo della valle dell'Adige.

Da quanto fu esposto nel paragrafo precedente risulta che il grande ghiacciajo del lago di Garda si formò per la massima parte a spese di quello della valle dell'Adige. Di ciò si accorsero Mortillet e gli altri che si occuparono prima di me dell'argomento. Anzi pare che abbiano inteso la cosa in un senso così assoluto, come se il ghiacciajo dell'Adige fosse passato per intero nel lago di Garda; come insomma non avesse esistito un ghiacciajo dell'Adige propriamente detto, e come non esistesse quindi al presente un anfiteatro dell'Adige distinto da quello del lago di Garda. Ma ciò non poteva essere in nessun modo. Abbiamo veduto in vero come il ghiacciajo dell'Adige perdesse tanta parte di sè stesso per gli sfoghi laterali che gli erano aperti a Trento e a Roveredo, sicchè doveva trovarsi immensamente assottigliato. Ma un ghiacciajo dell'Adige doveva esistere pur sempre, mentre il ghiacciajo, uno e potentissimo sopra Trento, per quanto trovasse larghi emuntorî sui lati, doveva pur sempre continuare, con quanto gli rimaneva di sè, il suo cammino lungo la valle madre, costituendo un ghiacciajo distinto da Roveredo in giù, unico e vero rappresentante dell'antico ghiacciajo dell'Adige.

Quale doveva essere l'andamento di questo ghiacciajo? È presto detto. Doveva discendere per la valle, occupando il letto del fiume attuale; arrivare a Belluno e Brentino; passare sotto le alture di Rivoli; poi infilare la stretta gola che si chiama Chiusa dell'Adige, e sboccare libero, espandendosi dov'è l'attuale pianura ad ovest di Verona. Supposto che il ghiacciajo dell'Adige, ridotto a far la parte di ramo secondario a fronte del ghiacciajo del lago di Garda che ingrossava a sue spese, avesse conservato una potenza sufficiente per prolungarsi nel piano, supponiamo fino a Bussolengo e Pescantina, sorpassata appena la chiusa dell'Adige, si sarebbe ricongiunto ai rami già staccati, formando con essi un solo anfiteatro, la cui cerchia si sarebbe svolta a mezzodì del lago di Garda, da Gavardo e Salò fino a Bussolengo e Pescantina. Così si fusero, formando un solo anfiteatro, il ghiacciajo del lago di Lecco con quello del lago di Como. Io non dubito che ciò sia avvenuto appunto nel periodo di maggiore avanzamento del ghiacciajo del lago di Garda, quando si formava sulla sua fronte quell'anfiteatro esterno descritto nel § precedente (1). Abbiamo già detto allora che la grande morena esterna, così ben conservata da Ponte S. Marco a Carpenedolo, non rappresenta che la porzione ovest del grande arco morenico di 100 chilom. e più, la quale, girando parallelamente all'anfiteatro interno, doveva attraversar l'Adige a Pescantina e buttarsi nella val Policella. La parte più orientale di quell'anfiteatro esterno, doveva essere costrutta precisamente dal ghiacciajo dell'Adige, quando questo fosse riuscito a congiungersi col ghiacciajo del lago di Garda. Che ci sia riuscito veramente mi sarà facilmente accordato da chiunque abbia una certa pratica di questo genere di fenomeni, e sappia che tutti i rami discendenti di un ghiacciajo acquistano più o meno approssimativamente la stessa lunghezza, finchè finiscono col fondersi insieme allo sbocco, ajutandosi reciprocamente ad erigere un solo anfiteatro proprio di tutti. Come è possibile che il ghiacciajo del lago di Garda arrivasse fino a Volta, e allargasse la sua fronte su tutta l'area fra il Chiese e l'Adige, senza che il ghiacciajo dell'Adige, per quanto stremo dalle perdite sofferte, non arrivasse almeno fino alla val Policella? Accennerò nondimeno più tardi un fatto positivo, da cui risulta che nel periodo dell'anfiteatro esterno il ghiacciajo del lago di Garda confluiva con quello dell'Adige, formando con esso un solo ghiacciajo, componendo una sola enorme morena frontale.

Se ciò avveniva durante il periodo dell'anfiteatro esterno, era da prevedersi però che, quando il ghiacciajo del lago di Garda si ritirava entro i confini del-

(1) V. sopra a pag. 103.

l'anfiteatro interno, il ghiacciajo dell'Adige, ritirandosi anch'esso, non avrebbe più potuto raggiungerlo, sicchè, mantenendosi isolato entro la valle, avrebbe edificato sulla sua fronte un anfiteatro tutto suo proprio, o almeno una morena frontale a sè. Scopo principale della mia gita nello scorso autunno era appunto di studiare i rapporti, ancor troppo imperfettamente stabiliti, fra i due antichi ghiacciai della Sarca e dell'Adige. Lo scopo fu felicemente raggiunto, come risulterà dai fatti che io presento al lettore, in quell' ordine che essi si presentarono a me stesso.

Compìto il giro dell'anfiteatro interno del lago di Garda, battendo la via che corre ai piedi delle morene da Sommacampagna a Bussolengo, poi quella che da Bussolengo conduce a Pastrengo, e da Pastrengo a Sega in riva all'Adige, mi posi a rimontar verso la valle di Caprino. Il torrente Tasso, che la percorre per venire a gettarsi nell'Adige, continua fino verso Costermano a segnare i limiti esterni dell'anfiteatro interno del lago di Garda, il quale, segnando la sua curva, va poi a terminare alla base della montagna, che sorge a nord di Garda. Si vede, tenendo sott'occhio la fig. 35, che comunque si ascenda da Sega a Caprino, uno si trova interamente fuori dei limiti dell' anfiteatro interno del lago di Garda, il quale si lascia tutto sulla sinistra. Salendo per la via più breve, cioè per quella che conduce da Sega a Camporeggio, Casone, S. Pietro, ecc., mentre l'anfiteatro del Garda si allontana a sinistra, vedesi a destra l'Adige che sbocca dalla oscura gola, fra il piede orientale del M. Pipalo, e l' estremità sud-ovest del M. Postal. Qui d' un tratto compare un altro sistema di morene, portato su quelle alture, come creato lassù per incanto. Ecco per l'appunto l'anfiteatro morenico distinto, perfettissimo dell'antico ghiacciajo della valle dell'Adige. La fig. 35 non lascerà, credo, nulla a desiderare, per chi voglia colpire almeno i tratti principali di quel curioso sistema, e comprenderne la storia.

L'antico ghiacciajo dell'Adige, scendendo da Roveredo, impoverito come abbiam visto, occupava l'angusta valle, incassato fra due montagne relativamente altissime, che non gli permettevano nè sfogo, nè diversione di sorta. La gola essendo angustissima, doveva naturalmente il ghiacciajo levarsi a grande altezza. Continuando così il cammino fino ad Incanal, nell'atto appunto d'infilare la porzione più angusta della Chiusa dell'Adige, la quale gli presentava piuttosto un ostacolo che un varco, trovava sulla destra, precisamente a Dogana, un'intaccatura, o depressione. Questa presenta anche attualmente un insenamento, o valle laterale di scarsa apertura, fra l'estremità meridionale della scogliera nuda e affilata, che corre sulla destra dell'Adige da Brentino a Incanal, e l'estremità settentrionale della piccola catena che comincia a nord dei forti di Rivoli e termina a sud col M. Pipalo. Il ghiacciajo dell'Adige, espandendosi tosto da quel lato, sorpassata l'insenatura, trovava un grande spazio libero, una specie di altipiano di cui possiamo formarci un'idea anche oggi, osservando la topografia di quella località, e togliendone colla fantasia le morene che vennero ad accamparvisi. Eccolo pertanto padrone di spiegare regolarissima la sua fronte, e di edificare un anfiteatro, che è il più perfetto di quanti abbia veduti mai. Come si può spiegare il fatto che nessuno dei geologi che visitarono quelle località, non ne abbia nemmeno, per quanto mi è noto, constatata l'esistenza?

L' anfiteatro morenico dell'Adige è, come dissi, un anfiteatro perfetto. Esso si disegna con un arco di rilievo regolarissimo, che limita ad est l'altipiano di Caprino, girando esternamente da Caprino a Ceredello, da Ceredello a Cà Vecchia, ripiegandosi sulla sinistra del torrente Tasso verso Coche, Cà Nova, Colombara, per circondare a sud il M. Pipalo, il quale sorge da quella parte come da un gran sperone morenico terrazzato ad ovest dal Tasso, ad est dall'Adige, il quale ha naturalmente distrutto quel poco resto dell'anfiteatro che attraversava la Chiusa, e terminava la cintura del ghiacciajo sopra Volargne, appoggiandosi alla scogliera calcarea così nuda e a picco, che fiancheggia l'Adige a sinistra fra Volargne e S. Ambrogio. Così l'antico anfiteatro morenico del ghiacciajo dell'Adige chiude i forti di Rivoli, come entro un circo, che li renderebbe inespugnabili da quella parte. La carta topografica dello Stato maggiore austriaco, sulla quale è model-

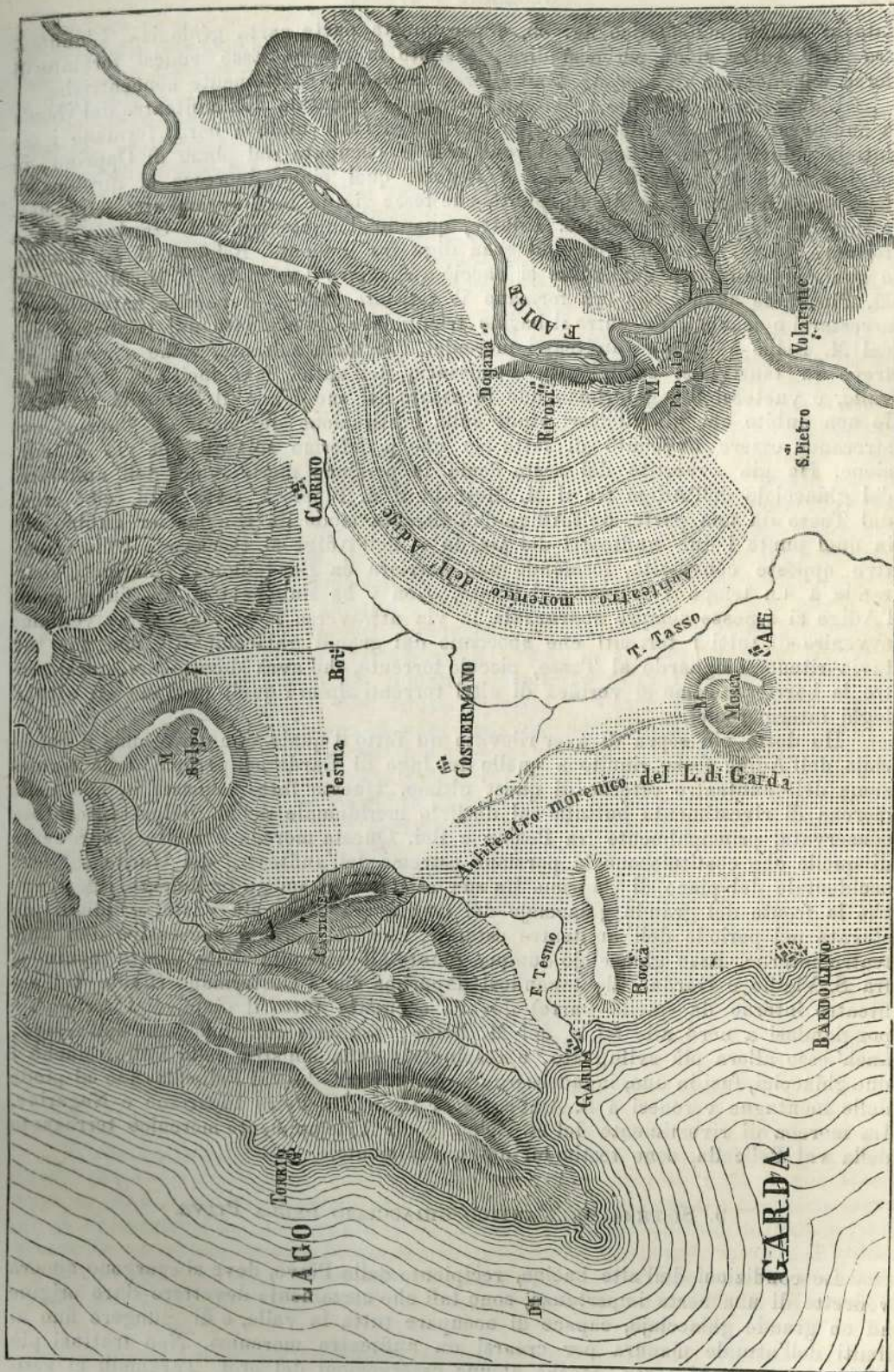



Fig. 35. — Anfiteatro morenico dell'antico ghiacciajo dell'Adige.

lato lo schizzo schematico fig. 35, è per questa parte carta geologica. L'anfiteatro dell' Adige vi è, per così dire, scolpito in rilievo. Esso vedesi formato di forse una dozzina di morene frontali, regolarissime, esattamente concentriche.

L'anfiteatro dell'Adige a sud-est, l'estremità orientale dell'anfiteatro del Garda a sud-ovest e la base del M. Belpo che sorge tutto nudo a nord, formano i tre lati in rilievo di un triangolo, la cui area è occupata dal piano di Caprino, in oggi solcato dal torrente Tasso. A vederlo quel piano depresso si direbbe un lago prosciugato; nè io dubito punto che fosse già un lago veramente, e precisamente un lago intermorenico. Infatti, quando l' anfiteatro del Garda venne a formare, come forma in oggi, una gran diga fra il monte Belpo e il M. Moscal, e quando l'anfiteatro dell'Adige si cacciò a riempire il vano fra il M. Moscal e il M. Pipalo, le acque, che ora formano il torrente Tasso, dovevano naturalmente arrestarsi e accumularsi entro il bacino triangolare determinato dal triplice rilievo del M. Belpo e dei due anfiteatri morenici. Più tardi soltanto, come avvenne altrove in tanti casi somiglianti, l'emissario dell'antico lago incise la barriera a valle, e vuotossi il lago, rimanendo incassato nel suo fondo il letto del torrente. Io non dubito che gli ulteriori studî sulla costituzione del piano di Caprino mostreranno essere avvenuto di fatto ciò che io affermo soltanto per via d' induzione. Ho già avvertito del resto come la porzione meridionale dell' anfiteatro del ghiacciajo dell'Adige fra il M. Moscal e il M. Pipalo è terrazzata, cioè erosa dal Tasso da una parte, dall'Adige dall'altra, in modo da non lasciar dubbio che in quel punto i due anfiteatri del Garda e dell'Adige si toccassero colle rispettive opposte convessità, formando una barriera da Bardolino a Volargne, sbarrando a un tempo l' Adige e il Tasso. Non v' ha dubbio che un fiume come l'Adige si tenesse sempre sbarazzata la via attraverso le morene, come vediamo avvenire di tutti i torrenti che sboccano dai grandi ghiacciai. Ciò non può tuttavia ritenersi riguardo al Tasso, piccolo torrente, che avrà dovuto arrestarsi contro la barriera, come si verifica di altri torrenti alpini i quali formano gli attuali laghi intermorenici.

Ho detto più sopra di aver rilevato un fatto il quale dimostra come il ghiacciajo dell'Adige fosse riunito a quello del lago di Garda nel periodo della formazione dell' anfiteatro esterno di quest' ultimo. Questo fatto consiste in una bella morena di rivestimento buttata sul declivio meridionale del M. Belpo, ancora ben conservata, principalmente fra Pesina e Boi. Questa morena è molto più rilevata di quelle che costituiscono la porzione estrema dell'anfiteatro del Garda sul lato occidentale del piano di Caprino. La sua esistenza si spiega facilmente, riflettendo che la fronte del grande ghiacciajo del Garda era assai più vasta, e quindi più elevata nel periodo dell' anfiteatro esterno, che nel periodo successivo dell' anfiteatro interno. Esso ghiacciajo dunque, giunto all'estremità della parete montuosa fra S. Vigilio e Garda, allontanandosi dapprima fino a Costermano (limite dell'anfiteatro interno da quella parte) doveva occupare tutto il piano di Caprino, appoggiandosi a nord alle falde del M. Belpo, fondersi col ghiacciajo dell'Adige, anch' esso allora più sviluppato, e respingerlo sulla sinistra della valle, sinchè i due ghiacciai, fusi in uno, invadessero da quella parte la val Policella fino al piede delle montagne veronesi a S. Ambrogio, Fumane, S. Piero Incariano e Negarine. La morena di rivestimento del M. Belpo, come il riempimento morenico terrazzato della val Policella, sono testimonî dell'avvenimento.

9. Sistema dell'antico ghiacciajo della Piave.

Le condizioni dell'alto bacino, recipiente della Piave, dove si scorgono ancora vedrette di una certa importanza, sono tali che certamente dovettero dare origine ad un grande ghiacciajo, capace di occupare tutta la valle, e di giungere fino ai limiti dell'attuale pianura per crearsi un anfiteatro morenico. Non trattasi più nemmeno di un supposto, dacchè alcune osservazioni del prof. Taramelli ci assi-

curano almeno che un grande ghiacciajo della Piave ha veramente esistito. Egli ha notato l'arrotondamento che mostrano fino a circa 700 m. sopra il fondo della valle le cime calcaree e le pareti delle chiuse di Cuero e di S. Croce, ed in ispecie le falde del M. Cavallo sopra Caneve e Cordigiano. Ha notato inoltre l'esistenza alla superficie dei colli trevigiani, anche più prossimi alla pianura, del terreno erratico, proveniente dall' alto Bellunese, dalla valle del Cismon e perfino dalle Noriche, all'origine del Rienz, confluente dell'Eisach. Sono graniti, gneiss granitici, dioriti tormalinifere, porfidi augitici e feldspatici, schisti paleozoici, puddinghe del trias, ecc. (1). Il ghiacciajo della Piave dunque, non solo era alimentato dai suoi grandi confluenti, ma riceveva in parte un nutrimento, stante l' enorme altezza dei ghiacci, da una porzione dei versanti dal Tirolo. Ciò doveva dargli enorme sviluppo, e s'intende benissimo come, giunto a Belluno, dove riceveva l'ultimo gran confluente, il Cordevole, dovesse biforcarsi, gettandosi a sinistra, per la valle del Rai, quindi pel lago di S. Croce e Serravalle verso i confini dell'attuale pianura, e come per l'altra parte, seguire il corso attuale della Piave fino a ricongiungersi al ramo di Serravalle, formando una sola fronte con esso. È in questi termini appunto che io trovo delineato l'antico ghiacciajo della Piave sopra una carta inedita favoritami recentemente dal prof. Taramelli. Una specialità importante che risulta dalle osservazioni del prof. Taramelli, e che vedremo dimostrata più tardi, parlando dell'antico ghiacciajo del Tagliamento, è questa, che il ghiacciajo della Piave era già così alto presso la sua origine da traboccare sulla sinistra pel passo della Mauria, fra Auronzo e Pieve di Cadore. Quel passo veramente non supera i 600 m. di altezza sul fondo della valle. È un fatto intanto che un ramo perduto del ghiacciajo della Piave andava per di là a ingrossare il ghiacciajo del Tagliamento. Intanto è molto singolare il fatto che non esiste fra lo sbocco tra la Piave dalla regione montuosa, e la pianura nè anfiteatro morenico nè alcuna traccia di esso, contrariamente a quanto si osserva per tutte le grandi valli alpine al loro sbocco nella pianura, contando dalla Dora Riparia fino al Tagliamento. Come si spiega così strana eccezione? Venne forse distrutto l'anfiteatro morenico dai fiumi, come abbiam visto dai fiumi demolito per la massima parte l' anfiteatro morenico esterno del lago di Garda? È forse, come pensa il Taramelli, che la fronte dell'antico ghiacciajo della Piave, invadesse i dominî dell'Adriatico, il quale avrebbe impedito la formazione di un anfiteatro, o l'avrebbe successivamente distrutta? Non è forse possibile in terzo luogo che l' anfiteatro morenico della Piave fosse edificato nell' epoca glaciale sopra un' area che più tardi per abbassamento venne coperta dal mare, e quindi conversa in pianura alluviale? L'assenza di un anfiteatro morenico in corrispondenza coll'antico ghiacciajo della Piave, è questione parziale, che rientra nella questione generale, dei rapporti fra l'epoca glaciale e pliocenica, fra gli antichi ghiacciai alpini e l'antico mare, il quale, come abbiam visto, sulla fine del periodo pliocenico occupava ancora tutta la pianura eridania spingendosi fino ai piedi delle Prealpi e delle Alpi. Questa questione sarà trattata ampiamente più tardi.

10. Sistema dell'antico ghiacciajo del Tagliamento.

L'alto bacino del Tagliamento non vanta in oggi, come abbiam visto, nemmeno una vedretta. Eppure quest'ultima fra le valli principali delle Alpi italiane offre un antico sistema glaciale così perfetto, che fu tra i primi a chiamare sopra di sè l'attenzione dei geologi che si occuparono dei grandi fenomeni che si compirono in un' epoca relativamente a noi così vicina. I signori Pirona e Mortillet ci diedero già da lungo tempo una particolareggiata descrizione del grande anfiteatro morenico, uno certamente dei più perfetti, che, come direbbe Dante, fa

(1) *Cenni sulle condizioni geologiche e climatologiche della provincia di Treviso*, Torino 1874.

siepe al Tagliamento appena a nord di Udine (1). I recenti studî del prof. Taramelli ci offrono così particolareggiato quell'antico sistema glaciale da lasciarci desiderare soltanto uno spazio maggiore di quello destinato a questo scritto per poterci maggiormente diffondere (2).

Una carta del Friuli, colorata geologicamente e inviatami dal mio dotto amico, mostra come l' antico ghiacciajo del Tagliamento risultasse dalla confluenza di nove ghiacciai almeno sopra il punto dove avviene l' incontro del Fella col Tagliamento. Cinque dei detti ghiacciai appartengono al Fella, formando un gran gruppo ad est, dipendente dalle montagne che separano l'alto Friuli dalle valli della Drava e dell' Isonzo. Quattro appartengono al Tagliamento, e formano un gruppo ad ovest, in dipendenza dalle montagne che separano il bacino del Tagliamento dal Tirolo e dalla valle della Piave. A questo secondo gruppo appartiene quel ramo dell'antico ghiacciajo della Piave, di cui abbiamo parlato nel paragrafo precedente, e che, pel passo della Mauria, veniva a gettarsi proprio alle sorgenti del Tagliamento, formando coi ghiacci locali il più occidentale dei numerati confluenti. Ebbi occasione di visitare collo stesso Taramelli quella località in una escursione dal Cadore a Udine per la Sella della Mauria. Fummo in allora colpiti dall'enorme sviluppo del terreno glaciale che ingombra quel passo, a modo di gigantesca ostruzione. Quelle morene rispondono benissimo, come osserva il Taramelli, al periodo in cui, abbassandosi e arretrandosi i ghiacciai, succedeva il distacco fra i due della Piave e del Tagliamento, sicchè i due opposti versanti della Mauria formavano un unico seno in cui arrestavansi le morene appartenenti ai due sistemi, formandovi un cumulo di straordinaria potenza. Quel distacco, sempre colle idee del citato autore, avvenne ben presto, cioè appena dopo il periodo del massimo sviluppo degli antichi ghiacciai, che noi riteniamo per ora segnato dalle curve più avanzate degli anfiteatri morenici. Presto infatti il ghiacciajo della Piave deve aver abbandonato quella sella, elevata più di 650 m. sul suo fondo; come presto deve aver abbandonato la sella della Mauria il ghiacciajo del Tagliamento, che presso alle sue origini doveva avere una potenza appena più che mediocre, e non fu mai capace probabilmente di levarsi fino a 300 metri sul fondo della valle, come era necessario per superare o per toccare almeno il passo della Mauria. È appunto per questa piccolezza del ghiacciajo del Tagliamento presso le sue origini, in confronto coll'enorme sviluppo in altezza, che doveva già avere il ghiacciajo della Piave fra Auronzo e Pieve di Cadore, che il ghiacciajo della Piave, superando facilmente il passo della Mauria, doveva, nel periodo di maggiore sviluppo, rovesciarsi nella valle del Tagliamento. Le prove di questa antica comunicazione fra il ghiacciajo della Piave, raccolte dal professore Taramelli, consistono nei massi erratici di granito e di gneiss provenienti dal Tirolo meridionale, i quali non possono essere discesi nella valle del Tagliamento che portativi da un ramo del ghiacciajo pel passo della Mauria. Ecco come ragiona in proposito l'illustre geologo.

» Per quanto riguarda i massi granitici e gneisici, dalla corrispondenza della natura litologica e dalle relazioni topografiche è accertato che provengono dal

(1) Pirona, *Sulle antiche Morene del Friuli* (Atti della Soc. ital. di sc. nat., vol. II, 1861).
Lo stesso, *Terreni geognostici del Friuli* (Annuario dell'Assoc. agr. friul. pel 1861).
Mortillet, *Carte des anciens glaciers du versant italien des Alpes* (Atti della Soc. ital. di sc. nat., vol. III, 1862).

(2) Il prof. Taramelli ha studiato punto per punto lo svolgimento del ghiacciajo del Tagliamento, cominciando dai più alti confluenti, terminando là dove si perde il terreno glaciale verso le rive dell'Adriatico a sud di Udine. Egli ha reso conto delle sue scoperte in molti scritti pubblicati successivamente. Il tutto è poi riassunto nel suo scritto veramente magistrale pubblicato recentemente negli *Annali scientifici del R. Istituto tecnico di Udine* (Udine 1875), che porta per titolo: *Dei terreni morenici ed alluvionali del Friuli*. Mentre questa Memoria onora altamente le pubblicazioni del R. Istituto tecnico di Udine, non si può a meno di lamentare che un lavoro di tanto merito e di tanta novità sia apparso unicamente in una raccolta così poco divulgata. Al signor Taramelli vo poi debitore di un buon numero di comunicazioni manoscritte, di carte e di disegni gentilmente favoritimi, e di cui lamento di non potermi giovare che in parte per la presente opera.

circolo meridionale, e specialmente dalle vette dei monti Rothwand (2692), Rothlahn, Planhorn, Rombet-Spitz, e Salthauss-Spitz (2596), a nord di Sillian, e di Innichen (S. Candido). Da questi monti scendono appunto i torrenti Gziers e Antholzer, confluenti del Rienz, e i torrenti delle valli di Villgratt e Winkel confluenti della Drava, e questi torrenti sboccano direttamente in quella depressione, d'onde il Rienz e la Drava muovono per opposto versante, l'uno all'Adige, l'altro al Danubio. La sella di Toblach è il punto più elevato di questa depressione, che del resto è pochissimo inclinata, ampia e quasi assolutamente scolpita in terreni schistosi. Proprio a mezzodì evvi la sella di M. Croce o di Padola, alta appena 1633 metri e quindi 301 metri sopra Toblach; ed è appunto per questa sella che una parte della massa agghiacciata, raccolta nell'accennata depressione, rimontata la valle di Sexten, penetrò per la valle di Padola nel bacino idrografico del Piave, per tutto il periodo di tempo nel quale essa massa si conservò di una potenza superiore all'altezza della sella medesima. Così dunque i massi di granito e di gneiss del Tirolo meridionale vennero misti ai materiali morenici del ramo sinistro del ghiacciajo del Piave, presso alle sue origini nel Comelico. Quindi, movendo col ghiacciajo stesso verso il Cadore, quelli vennero ad essere ridotti all'estrema morena di sinistra per la confluenza dell'estremo ramo dell'Auziei, e alcuni di essi si trovarono così nella più opportuna posizione per valicare, appena più a valle di questa confluenza, la sella della Mauria (alta 600 metri sul livello del Piave) e passare nel bacino idrografico del Tagliamento, del cui sistema glaciale essi appunto caratterizzano le morene di destra, insieme ai massi di *puddinga* quarzosa, rosea, del trias inferiore, che li accompagnarono in quest' ultima diserzione. La prevalenza della forza d' impulsione e di discesa del ghiacciajo del Piave su quello del Tagliamento, in corrispondenza alla sella della Mauria, quale occorre per spiegare una tale diserzione, è evidentissima: perchè quivi il secondo di essi ghiacciai era appena formato con piccole vedrette scendenti dalle montagne dolomitiche del Tiersine e del Gridola (2500 metri); mentre il ghiacciajo del Piave, sceso dalle vette molto più alte del Peralba (2690), del Frugone e del Quaterna (2560), che s' innalzano circa 27 chilom. più a tramontana della sella della Mauria, aveva inoltre di già ricevuto l'importante rinforzo del ramo dell'Auziei, pel quale si scaricavano le nevi abbondantemente raccolte in uno dei più vasti e abbondanti bacini del Bellunese » (1).

Tutti i sopra numerati ghiacciai, che lasciarono sui fianchi delle rispettive valli enormi tronchi di morene laterali disegnati nella carta inedita favoritami dal Taramelli, si riunivano, formando due grandi ghiacciai, quello del Tagliamento a ovest e quello del Fella a est, che fusi in uno, dove avviene attualmente la confluenza dei due fiumi, riempivano la valle del Tagliamento, e dilatandosi, com'essa si dilata, spiegavano la fronte sopra un arco di circa 24 chilometri fra Spilimbergo e Tricesimo, arrestandosi a poca distanza da Udine. Sono innumerevoli gli interessanti particolari raccolti su questo spazio dal lodato geologo. Per notarne alcuni, diremo anzitutto dei particolari che riguardano il lago di Cavazzo. Questo lago occupa attualmente il fondo di una breve chiusa, la quale si stacca dalla destra del Tagliamento propriamente detto, cioè dal ramo originario del fiume di questo nome che si volge ad ovest sopra il confluente del Fella. La chiusa di Cavazzo si spinge direttamente da nord a sud fra il M. Faroppo e il M. Festa, parallelamente al tronco del Tagliamento che discende nella stessa direzione sotto il confluente del Fella. Quella chiusa è difesa a nord da una catena di rupi dolomitiche, mentre è aperta a sud, dove il suo fondo è occupato da un piano alluvionale, che si unisce e confonde colle alluvioni stesse del Tagliamento, che lo fiancheggiano a destra. È naturale che l'antico ghiacciajo del Tagliamento, passato Tolmezzo, spingesse un ramo entro la chiusa di Cavazzo, che gli si apriva sul fianco destro, mentre la massa principale del ghiacciajo seguiva

(1) Taramelli, *Dei terreni morenici e alluvionali del Friuli*; pag. 13.

il corso del fiume. Il M. Festa divenne un' isola sorgente fra il ramo del ghiacciajo che occupava la chiusa di Cavazzo, e il tronco principale del ghiacciajo stesso che discendeva per la valle del Tagliamento. Il ramo e il tronco si riunivano naturalmente allo sbocco meridionale della chiusa, il cui fondo, occupato dal ghiaccio, rimase vuoto quando questo dileguossi, e fu quindi convertito in lago dalle acque fluenti dalle circostanti montagne. Testimonio del fatto, oltre gli altri documenti, è la catena di rupi dolomitiche, la quale sbarra attualmente il lago di Cavazzo a nord fra il M. S. Simeone e il M. Faroppo, e che scavalcata, come dicemmo, dal ghiacciajo, mostrasi ora sotto la forma di una catena di dorsi arrotondati.

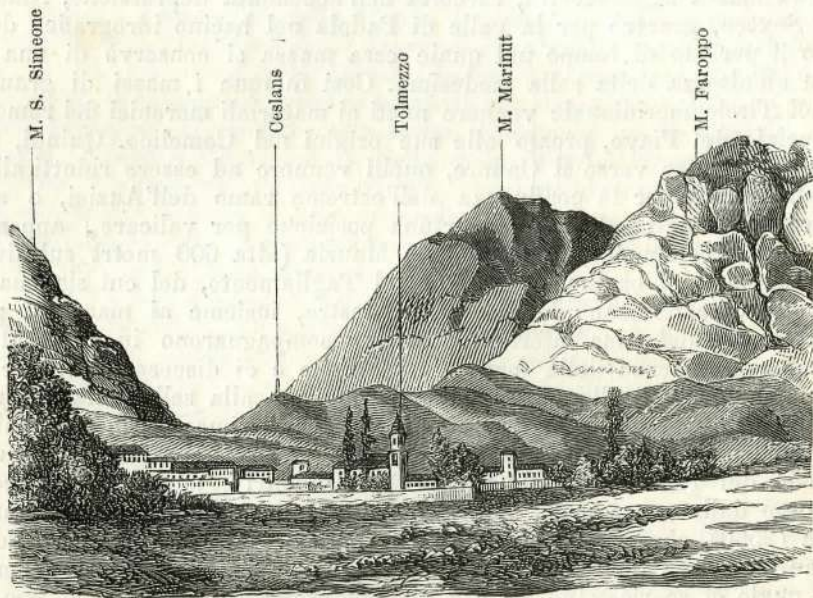



Fig. 36. — Imbocco nord della Chiusa di Cavazzo, arrotondato da un ramo del ghiacciajo del Tagliamento.

La fig. 36, presa da un disegno del prof. Taramelli, presenta quella barriera arrotondata, come si vede di sopra a Tolmezzo, guardando a sud nella direzione del lago di Cavazzo, che le sta dietro. Ceslans sorge precisamente sulla barriera arrotondata in mezzo all'apertura per cui entrava il ghiacciajo. Anche i fianchi dei monti S. Simeone e Faroppo veggonsi, fino a grande altezza, arrotondati.

Un altro tratto di paesaggio, caratteristico per una valle percorsa da un antico ghiacciajo, è quello che si osserva da Venzone, guardando nella direzione del corso del fiume verso mezzodì. Sotto Venzone la valle del Tagliamento si allarga, formando un bacino il cui fondo è un largo piano irregolare, tagliato dal fiume, e coperto di alluvioni e di frane, distinte col nome di *Rivoli bianchi.* Questo piano costituisce le vicinanze nel disegno fig. 37, eseguito e favoritomi come il precedente dal prof. Taramelli. Più in giù la valle si restringe, strozzata tra i monti Ciampon e Comielli a sinistra e il monte Zeugla a destra. Però il ghiacciajo superava d'assai il monte Comielli, il quale, come mostra la figura, ne uscì poi tutto arrotondato. Più oltre vedesi il piano d'Osoppo, che costituisce l'interna arena dell'anfiteatro morenico: è lo stesso anfiteatro rappresentato nello sfondo della fig. 37 dalle colline dalle quali si eleva il colle roccioso di Susans veduto in distanza.

Ma, lasciando molti altri particolari, portiamoci subito in questo piano di Osoppo, il quale, così uguale, così sgombro, limitato a valle da un arco di cer-

chio distintamente regolare, presentando cioè la figura di una mezzaluna, può citarsi come tipo, unico nella sua perfezione, di ciò che si chiama, nel linguaggio geologico, *arena d'un anfiteatro morenico.*

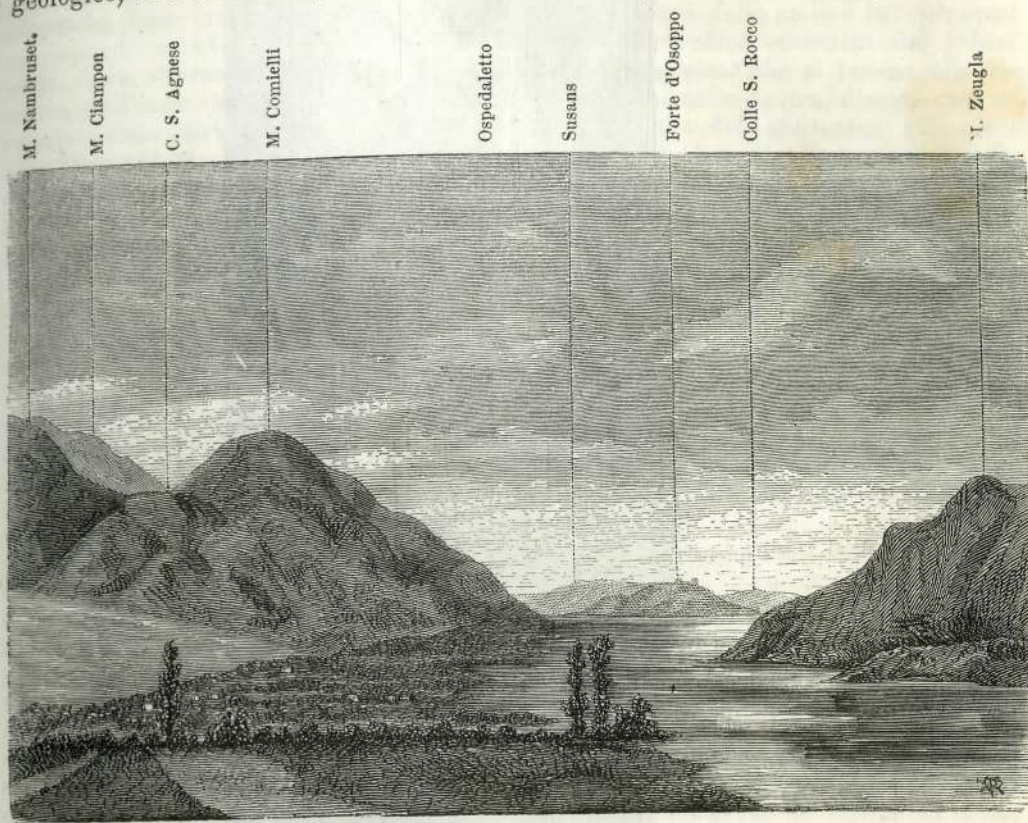



Fig. 37. — Chiusa del Tagliamento sotto Venzone.

A Codozalici, sulla destra del fiume, dalle alture sopra Forgaria, girando lo sguardo da nord-est a sud-ovest, oltre il gran piano d'Osoppo che ci sta sotto davanti, noi vediamo spiegarsi in tutta la sua maestà quello stupendo anfiteatro sorgente dalla pianura, che al di là continua fino al mare. Esso si appoggia ad est alle montagne che separano la valle del Tagliamento da quelle del Torre e dell'Isonzo, e sbarra la valle stessa del Tagliamento, che a mala pena si è dischiusa la via radendone una breve porzione da un lato, tra i colli rocciosi di Ragogna e di Pinzano. Sotto questo punto di vista ci si presenta l'anfiteatro morenico del Tagliamento nel panorama geologico disegnato dal prof. Taramelli, e quì riprodotto nella fig. 38. In vicinanza, Montesanto e i colli sopra Pinzano a destra, e a sinistra Forgaria, divisi quelli da questa per mezzo del torrente Pontaiba. Il Tagliamento, col suo letto arenoso, segna una zona di mezzo, che rade a sinistra il colle roccioso di Ragogna. Il piano d'Osoppo è limitato a destra dal torrente Ledra, che scorre precisamente sull'arco di confine tra esso piano e la cerchia morenica che lo ricinge. Qui vedesi infatti, dietro i colli rocciosi di Buja, di Susans e di Ragogna, spiegarsi da sinistra a destra l'arco interno delle morene frontali che terminano al Tagliamento. Dietro la cerchia morenica vedonsi nello sfondo a destra disegnarsi pianure che terminano al non lontano Adriatico, e verso la sinistra le montagne sulla destra del Torre e dell'Isonzo. Il tutto si chiarirà perfettamente, confrontando questa fig. 38 colla *Tavola* XXII, che disegna l'anfiteatro morenico del Tagliamento visto all'esterno, guardando dalla pianura verso

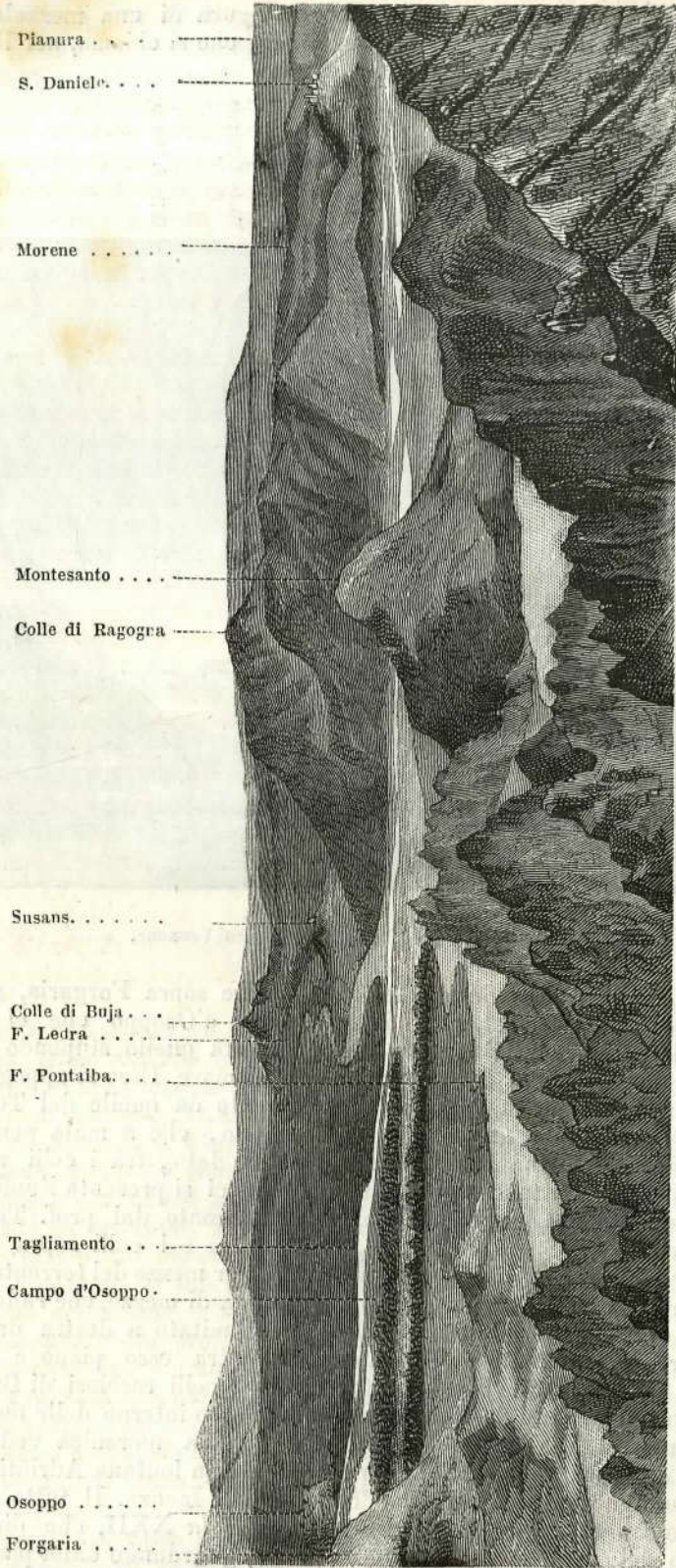



Fig. 38. — Interno dell'anfiteatro morenico del Tagliamento visto dalle colline di Pinzano sulla sinistra del fiume.

la valle, e la *Tavola* XVIII, che presenta la topografia dello stesso anfiteatro. La *Tavola* XXII non è che una piccola porzione del grande *Panoramma geologico del Friuli*, in cromolitografia, pubblicato dal Taramelli nel 1872; lavoro stupendo, forse unico nel suo genere. La catena lineare delle colline in vicinanza corrisponde a tutta quella porzione dell' anfiteatro morenico costrutta dal ghiacciajo, dove, sbucando d' in tra i colli miocenici di Ragogna, che si levano alla sinistra dell'osservatore, e il colle di Buja, che si alza sulla destra, disegnava una regolarissima curva., a cui risponde attualmente quella dell' anfiteatro morenico. Dietro l'anfiteatro e i colli di Ragogna e di Buja si distende l'arena dell' anfiteatro stesso, ossia il piano di Osoppo, da cui vedesi sorgere il forte di questo nome. Sullo sfondo del quadro si presenta lo sbocco della valle del Tagliamento colle montagne calcaree che lo fiancheggiano.

L'anfiteatro morenico del Tagliamento, come può rilevarsi dalla Tav. XVIII, presenta una numerosa serie di colline allineate sopra tanti archi concentrici, i quali si possono ridurre a tre principali. La cerchia esterna comprende, numerandole da ovest a est, le colline moreniche di S. Daniele, Madrisio, Fagagna, Moruzzo, Brazzacco, Tricesimo e Tarcento, da cui dipendono molti altri colli distesi sopra una zona arcuata, lunga circa 27 chilom., larga in media 3, e alta, misurandola sul livello del mare, 150 m. È solcata dall' interno all' esterno dai torrenti Corno e Cormor e da altri minori. La cerchia media decorre da Capo-riaccio e Castello a nord di Fagagna, fino a Collalto e S. Biagio. Le colline principali sono quelle di Colloredo, di Montalbano, di Treppo, Raspano, Colognella, ecc. Questa seconda cerchia presenta molto distinta una doppia curvatura, mostrasi cioè formata di due archi, i quali si toccano sopra una linea che partisse dal colle di Buja in direzione sud-est. Durante il periodo di medio sviluppo il colle eocenico di Buja, alto sul livello del mare 350 m. circa, doveva levarsi fuori del ghiacciajo, obbligandolo momentaneamente a biforcarsi, formando due fronti, le quali si riunivano poi tosto a valle dell'ostacolo. Da ciò la doppia curva morenica che corrisponde alla doppia fronte dell'antico ghiacciajo. Notasi inoltre una magnifica morena d'ostacolo che ricinge il colle di Buja dalla parte di nord. La terza cerchia morenica, cioè l' interna, non è ben distinta, secondo che scrive il Taramelli, ma segnata da parziali allineamenti morenici, fra i quali vanno comprese le colline di Pers, di Bueris, ecc. Quegli allineamenti seguono però ancora meglio distinta la doppia curva dell'anfiteatro, risultante dalla biforcazione dell' antico ghiacciajo contro il colle di Buja. L' ispezione della Tav. XVIII servirà del resto meglio di qualunque descrizione a darci un' idea esatta dello sviluppo di quell' anfiteatro. Vi si possono rilevare anche diversi particolari, dipendenti dall'esistenza di quella specie di barriera di colli rocciosi, che si presentava precisamente allo sbocco del gran ghiacciajo del Tagliamento, incrociando la valle in direzione da nord-est a sud-ovest. Contiamo infatti in questa direzione dapprima le colline eoceniche di Salt, Artegna, Buja e Vendoglia, poi le colline mioceniche di Susans, Muris, S. Daniele e Ragogna. La stessa Tavola ci mostra gl' importanti insinuamenti morenici sopra entrambo i lati dell'anfiteatro. Noto come principali il gran seno morenico di Cologna, sopra Artegna, a est, e quelli di Flagogna e Coronino a ovest. Si notano inoltre i numerosi laghi intermorenici, di cui unico superstite è il lago di S. Daniele, essendo gli altri occupati da altrettante torbiere. Quanto alla distribuzione del terreno erratico, in corrispondenza coi bacini confluenti al ghiacciajo del Tagliamento, mi piace di riportare testualmente quanto ne scrive il prof. Taramelli, anche perchè nel passo che stiamo per citare vi sono espresse delle idee molto opportune a rischiarare uno dei fatti che servono principalmente di base alla teoria glaciale. Ecco le parole del Taramelli.

« Prima di abbandonare il campo della più prolungata dimora della fronte glaciale, gioverà eziandio il rintracciare e lo spiegarci alcuni principalissimi particolari della litologia dei materiali morenici; poichè è in tal guisa che la teoria glaciale brilla nella massima luce della sua verità, e spiega meravigliosamente i più minuti ed i più interessanti dettagli. Sarà facile a chiunque il prevedere,

come una così potente massa di ghiaccio, che larga e potentissima superava i minori dettagli dell' orografia della nostra valle principale, debba aver obbedito costantemente e scrupolosamente al principio della conservazione dei versanti, che sorveglia la distribuzione dei depositi glaciali. Come pure ognuno intenderà che la ricerca di tutte le conseguenze della perfetta obbedienza al principio stesso implicherebbe la conoscenza o l'esposizione di tutta la geologia friulana, e che questo sarebbe dettaglio soverchio e nojoso ».

« Mi limiterò pertanto a osservare che sulla destra devono prevalere, e prevalgono realmente, gli elementi calcareo-dolomitici del versante destro del canale di Socchieve, le arenarie quarzoso-micacee giallognole o rosse, e le dolomie bucherellate del trias inferiore, delle valli del Lumiei e del Degano; e che sono poi caratteristiche le rocce importate pel passo della Mauria dal ghiacciajo del Piave, cioè il granito gneissico tirolese e la puddinga quarzoso-micacea rossa o verde del Comelico (*Campiler-Schichten*, *Grödner-Conglomerat*, *Trias inferiore*). Nè mancano fra le morene di destra i massi di conglomerato terziario e di molasse mioceniche, abbondantemente fossilifere, come a Peonis e Osoppo. Nelle morene mediane poi compare precisamente la sintesi della litologia carnica. Quivi i massi porfirici delle colate permiane dei dintorni di Paluzza, le arenarie bucherellate od oolitiche e le spiliti parimenti permiane dell' alto Incaroio; quivi abbondantissimi i massi di scisto argillo-micaceo, le quarziti scure e i calcari rosei o grigi o bianchi, sempre più o meno marmorei, del carbonifero; quivi perfino si trovano massi di questo calcare con filoncelli di minerali di rame, evidentissimi pel coloramento verde o azzurro, che da essi si sparge tutto all'ingiro sulla roccia, e questi massi provengono indubbiamente dall'alta valle del Degano, e dai dintorni di Timau. I porfidi augitici, i tufi e le brecce porfiriche e felsitiche del trias medio dell' Incaroio e dell'Aupa, s' incontrano a ogni piè sospinto; nè mancano i calcari marnosi, le rocce gessifere, i marmi neri bianco-venati, e i calcari brecciati policromi del Canal del Ferro, specialmente abbondanti nelle morene di sinistra del ramo corrispondente a questa principale tributaria della valle del Tagliamento. In queste morene finalmente prendono assoluta prevalenza le accennate rocce della valle del Fella, e fra queste noterò come caratteristica la *puddinga quarzosa bianca* dei dintorni di Pontebba: roccia opportunissima per distinguere i depositi morenici nella porzione orientale del sistema glaciale carnico e delle valli della Gailizza e della Sava di Wurzen, tanto pel suo aspetto litologico, quanto per la ristrettezza della zona del suo affioramento, che si stende per pochi chilometri dall'Oharnach all' Isterniek, al termine delle Alpi Carniche. Abbondano altresì in queste morene di sinistra i calcari brecciati rossi o cloritici dei dintorni di Ospedaletto e Venzone. Ma il massimo contingente è fornito dalle rocce eoceniche della falda collinesca da Gemona a Tarcento, poco diverse o identiche a quelle che affiorano, o che il ghiacciajo ha sepolto sotto i proprî depositi in questa porzione dell'anfiteatro, e tra esse sono distintissime le puddinghe quarzose (pietre da macina di Montenars) e i conglomerati calcareo-marnosi a grossi elementi dei colli di Magnano. In tutta la porzione orientale dell' anfiteatro abbondano eziandio i massi di felsite porfirica rosso-bruna, della qual roccia io conosco soltanto un limitato affioramento nella Valbruna (Wolfsbacherthal); mentre essa è sviluppatissima nelle contigue valli di Kaltwasser e di Raibl. Nè questo fatto si può spiegare altrimenti, se non ammettendo un deversamento sul ghiacciajo del Fella delle morene di destra della valle della Gailizza in corrispondenza alla sella di Camporosso. In generale la parte orientale dell' anfiteatro morenico presenta la massima varietà di rocce, fra le quali quelle appunto abbondano, che sono suscettibili di dare per decomposizione meteorica più abbondante e più ferace terriccio vegetale. La frequenza dei villaggi che quivi fanno lieto l' amenissimo paesaggio e la scarsità di vago pascolo, che invece abbonda da Fagagna a S. Daniele, sono evidentemente la conseguenza di questa diversità di carattere litologico ai due lati dello scomparso ghiacciajo » (1).

(1) Taramelli, *Dei terreni morenici ed alluvionali del Friuli*, pag. 29.

CONCLUSIONE.

Da quanto venne esposto nel presente capitolo risultano dimostrati i seguenti fatti:

1.° Tutte le grandi valli alpine, sui versanti italiani, dalla Dora Riparia al Tagliamento, furono anticamente occupate da un ghiacciajo il quale levossi ad altezze di 500 a 1000 m. sopra il letto attuale dei fiumi, e si spinse, più o meno, oltre lo sbocco della rispettiva valle ai confini settentrionali della pianura eridania. Alcuni di quei ghiacciai, superando le selle delle valli rispettive, divennero fra loro confluenti.

2.° Ciascun ghiacciajo, come risultava a monte di diversi confluenti dalle valli laterali, così diramossi a valle nei seni e nelle valli, dando origine a rami staccati, e ad altri che si riunirono al tronco entro i limiti d'espansione di ciascun grande ghiacciajo.

3.° Dall'invasione del ghiacciajo nella valle principale e dalla sua diramazione nei seni e nelle valli laterali, ebbero origine le morene laterali o insinuate e la dispersione dei massi erratici, in tutta la regione a monte della linea di massima espansione dei singoli ghiacciai.

4.° In un lungo periodo di sosta ciascuno dei grandi ghiacciai diè origine sulla sua fronte a un sistema di morene frontali costituenti un anfiteatro morenico più o meno complesso. Agli anfiteatri morenici corrispondono i paesi di collina più fertili, allineati alle falde meridionali delle Alpi e delle Prealpi, come le colline di Rivoli e d'Ivrea, quelle del lago Maggiore e di Varese, la Brianza e le sue adjacenze, le colline a mezzodì del lago di Garda, i colli Trevisani, e quelli del Friuli tra Udine e la valle del Tagliamento.

5.° Benchè il periodo degli anfiteatri morenici possa considerarsi come un gran periodo di sosta degli antichi ghiacciai, la composizione degli anfiteatri stessi, risultando dalla justa-posizione di un numero maggiore o minore di morene concentriche, accusa una serie di periodi di regresso, alternanti con altrettanti periodi di sosta.

6.° Dopo l'ultimo periodo di sosta, indicato dalla cerchia più interna degli anfiteatri morenici, tutti i ghiacciai furono soggetti a un movimento di regresso continuo e relativamente rapido, come è reso palese dall'assenza delle morene frontali, nel tronco inferiore delle vallate alpine a monte degli anfiteatri morenici.

7.° Il detrito erratico delle Alpi negli anfiteatri morenici, e più ancora nelle morene e nei minori accumulamenti morenici a monte degli anfiteatri, è distribuito invariabilmente secondo i versanti.

VI.

DESCRIZIONE DEGLI ANTICHI SISTEMI SECONDARÎ DI GHIACCIAI DELLE ALPI ITALIANE

Descritti i sistemi primarî o principali degli antichi ghiacciai, restano i secondarî od accessorî. Sostanzialmente non c' è differenza tra questi e quelli. La distinzione tuttavia, basata su circostanze accidentali, non è priva di fondamento e non manca di una certa importanza in ordine alla scienza. I sistemi secondarî sono più piccoli, dipendono, piuttosto che dalle Alpi, dai contrafforti di esse e dalle Prealpi, non giunsero alla pianura, non edificarono anfiteatri morenici propriamente detti, ma soltanto morene frontali più o meno potenti. I ghiacciai di cui parliamo sarebbero innumerevoli. Ogni vedretta divenne ghiacciajo in quell'epoca, e si formarono ghiacciai anche in seno a certe valli, ove non v'ha più nessuna traccia nè di ghiacciai nè di nevi perpetue. Si può ritenere che tutte le valli dipendenti da montagne le quali toccano i 2500 m., diedero origine a un ghiacciajo (1). Ma la maggior parte di quei ghiacciai secondarî divennero confluenti dei primarî, e sarebbe altrettanto superfluo, quanto nojoso il noverarli. Molti però si mantennero indipendenti, arrestandosi in seno alle valli stesse che li avevano generati. Questi soltanto sono presi in considerazione nel presente capitolo. Non si pretende però di nominarli tutti, e tanto meno di descriverli; tanto più che di molte valli secondarie, anche di certa importanza, ci mancano assolutamente notizie. Ci occuperemo dunque soltanto di quegli antichi ghiacciai indipendenti, di cui è al-

(1) Manca uno studio sui minimi delle altezze delle montagne da cui trassero origine gli antichi ghiacciai in Italia e nelle diverse regioni del globo. Sarebbe interessantissimo di averlo per fissare i termini di un fenomeno così generale sotto le diverse latitudini. Sotto questo punto di vista i piccoli ghiacciai sono assai più interessanti dei grandi. Il limite di 2500 m. fissato approssimativamente come minimo dell'altezza delle montagne, perchè si formassero i ghiacciai sui versanti italiani delle Alpi, non è affatto arbitrario. Occupata da un ghiacciajo affatto indipendente del grande sistema dei ghiacciai alpini era l'alta valle di Scalve, dove il Pizzo Tornello e la Presolana, che diedero principalmente origine a quel ghiacciajo ora scomparso, non vantano che un'altezza di 2677 m. l' uno, e di 2500 m. l'altra. La valle di Biandino e la valle del Bitto furono occupate ciascuna da un ghiacciajo, di cui potei rilevare personalmente gli indizî più sicuri. Ora il Pizzo dei Tre Signori, cioè la massima vetta a cavaliere delle due valli, non si eleva che a 2564 m. d'altezza. Non potei invece assicurarmi che avessero ghiacciai di proprio nè la Valsassina, nè la valle di Esino, nè la val Imagna, mentre il Resegone non si eleva che a 1879 m., la Grigna meridionale a 2180 e la Grigna sett. a 2412. Però sul versante nord-est del Resegone, che non vede sole d' inverno, il sistema dei colli dolomitici perfettamente arrotondati e i depositi morenici tutto di rocce locali, dimostrano l'esistenza di una grossa antica vedretta, che occupava tutto il bacino di Morterone.

meno sancita l' esistenza, non facendo bisogno del resto di dimostrare che tutte le valli alpine, le quali discendono da altezze pari a quelle delle valli anticamente occupate da un ghiacciajo, ebbero esse pure il loro nell'epoca glaciale. Dividiamo gli antichi ghiacciai secondarî delle Alpi italiane in tre gruppi:

I. Antichi ghiacciai secondarî del Piemonte;
II. " " " della Lombardia;
III. " " " della Venezia.

1. Antichi ghiacciai secondarî del Piemonte.

La *Carta degli antichi ghiacciai del versante italiano*, pubblicata dal Mortillet (1), indica, fra le Alpi Marittime e il lago Maggiore, i seguenti ghiacciai secondari: — Valle della Stura di Coni — Val Maira — Valle della Varaita — Alta valle del Po — Val Pellice — Val di Chisone — Stura di Lanzo — Valle dell' Orco — Val Sesia — Bisognerà aggiunger a queste valli almeno quella probabilmente del Cervo, mentre ho benissimo presente che il terreno morenico è ben distinto e sviluppato nelle vicinanze di Biella. Il signor Mortillet ha raccolto nella Memoria che correda la carta citata gli appunti, per lo più assai scarsi, che si hanno sulla maggior parte degli antichi ghiacciai che occuparono le suddette valli. A lui va attribuito quasi per intero questo paragrafo.

Valle della Stura di Coni. — È la valle italiana la più a sud-ovest della catena delle Alpi. Malgrado la sua posizione meridionale, fu occupata da un ghiacciajo, che discendeva dalla punta Bernardo, e dalle cime prossime al monte detto Col de la Madeleine. Quel ghiacciajo sorpassava Demonte, e discendeva fino a Casali, fra Gaiolo e Borgo S. Dalmazzo, dove si scorge ancora una porzione di morena con massi erratici. Aveva una lunghezza di 46 chilom.

Alta valle del Po. — Dal corpo del M. Viso partono le tre valli, della Varaita, del Po e del Pellice. Secondo le osservazioni del prof. Gastaldi gli antichi ghiacciai ne occuparono la porzione più elevata discendendo presso Sampeyre per la Varaita, Parsana pel Po, e Luserna per il Pellice. Non misuravano che da 10 a 20 chilom. di lunghezza.

Valle di Chisone. — L'antico ghiacciajo si arrestava nei dintorni di Perosa, come attesta egualmente il Gastaldi.

Valle della Stura di Lanzo. — L'antico ghiacciajo, formato da tre confluenti che discendevano dalle alte creste che separano il Piemonte dalla Maurienne, fra il Roccia Mellone e la Levanna, si arrestava nei dintorni di Lanzo. Il prof. Gastaldi lo ha studiato attentamente, e ne riporta particolari interessanti, relativi alle morene laterali o frontali e ai massi erratici (2).

Val Sesia. — L'antico ghiacciajo, disceso dalle cime del M. Rosa, ebbe indubbiamente un grande sviluppo. Il sig. Mortillet lamenta la deficienza di qualunque siasi notizia, ed io non avrei potuto che fargli eco se non mi fossi recato espressamente sui luoghi nello scorso autunno (1876). L'antico ghiacciajo della Val Sesia si inoltrava da Alagna a Varallo, arrestandosi, a quanto mi pare, verso Borgosesia. Tutta la valle presenta massi erratici, lembi morenici, e tutti i soliti indizî di un antico ghiacciajo. Ma le condizioni topografiche e geologiche mi parvero meno favorevoli che altrove alla formazione e alla conservazione di un apparato glaciale. Non lascierò tuttavia di accennare la meravigliosa *morena insinuata* nella valle che da Varallo conduce alla Culma, passando per Ciriasco, per discendere quindi al lago d'Orta. Detta morena basta da sola a dare un' idea della potenza dell'antico ghiacciajo della Sesia. La porzione inferiore verso Varallo di quell'enorme ingombro di terreno glaciale, è spazzata via dal torrente; ma mezz'ora prima di giungere a Ciriasco la morena si spiega in tutta la sua gran-

(1) *Att. della Soc. ital. di scienze nat.*, vol. III, 1860.
(2) *Alcuni dati sulle punte alpine situate fra la Levanna ed il Roccia Mellone.* Torino 1868.

dezza. È un ammasso fangoso, con massi erratici e detrito di rocce cristalline d'ogni forma, d'ogni volume. Mi parvero comuni i protogini del M. Rosa. La morena riempie la valle fino alla Culma, dove si incontrano gli ultimi erratici. Ritengo per certo che in un periodo di massimo sviluppo, di cui riparleremo, il ghiacciajo della Sesia mandò un ramo a quello del Ticino, che occupava il lago d'Orta, per la descritta via della Culma. Durante il *periodo degli anfiteatri* però, esso faceva interamente da sè, e per poco non giunse a fabbricarsi nella pianura un vero anfiteatro morenico.

2. Antichi ghiacciai secondarî della Lombardia.

Tra le valli secondarie, occupate da antichi ghiacciai indipendenti dal sistema alpino, notiamo le seguenti fra il lago di Como e il lago di Garda: — Val Brembana — Val Seriana — Val di Scalve — Val Trompia — Val Sabbia. — Salvo quest'ultima, nessuna è indicata come glaciale nella citata *Carta* di Mortillet.

Valle Brembana. — È impossibile che un antico ghiacciajo non discendesse ad occupare questa vallata, mentre il Pizzo dei Tre Signori inviava certamente un ghiacciajo nella val Biandino pel versante nord-ovest, e un altro assai potente nella val del Bitto pel versante nord-est. L'alta valle Brembana è inoltre coronata da altre cime molto elevate, come il M. Azzarini (2431 m.), il M. Cadelle (2530 m.), il M. Corno Stella (2696 m.) e il Pizzo del Diavolo (2918 m.). Infatti io trovai nella regione superiore della valle un completo apparato glaciale. Tra Camerata e Piazza, p. e., il Brembo è strozzato entro una gola angustissima. All'ingresso di questa gola appare un enorme ammasso di un conglomerato, che si dilata a destra e a sinistra, levandosi molto alto sulle due sponde del fiume. Si piglierebbe per una puddinga antica, tanto è saldo il cemento calcareo che lega i ciottoli e incorpora la stessa roccia alle calcaree del trias formanti le montagne che incassano la valle. È anche scavata come pietra da costruzione. Ma i ciottoli striati ne chiariscono ben presto l' origine glaciale. Quel conglomerato non rappresenta che la morena frontale dell'antico ghiacciajo della val Brembana, ingolfato entro quella strozza. Più in su, al confluente della Val Torta col Brembo, dove la valle si allarga in bacino, l'azione dell'antico ghiacciajo è annunciata da una bella mostra di colli arrotondati, formanti una specie di terrazzo fra Piazza e Lenna. Maggiori particolari son superflui allo scopo.

Val Seriana. — Eccoci in presenza di uno dei più begli apparati, corrispondente a un antico ghiacciajo, indipendente dal sistema delle Alpi. La valle Seriana custodisce ancora delle vedrette, quella nominatamente del M. Gleno, reliquie del grande ghiacciajo che l' ha un giorno percorsa. È anch' essa del resto coronata da cime molto elevate, come il Pizzo del Diavolo già nominato, il Pizzo Cocca (2958 m.) e i M. Torena e Gleno.

Ho già citato la morena della Selva, che è appunto la morena frontale dell'antico ghiacciajo, e disegnatine i massi erratici (1). Del resto la *Carta del sistema glaciale del lago d'Iseo* (Tav. II) mostra la porzione terminale del ghiacciajo stesso, il quale, percorsa la valle Seriana, si gettava entro il bacino di Clusone, urtava di fronte il Pizzo Formico, dove si arrestava, piegandosi però ad arco rientrante, in guisa da formare due fronti, l'una a destra del Pizzo Formico, l'altra a sinistra. La destra occupava il letto del Serio fin verso Ponte di Nozza, fabbricando in quel luogo la morena della Selva; la sinistra si spingeva per qualche chilometro nella val Borlezza, passando sotto Songavazzo. Il Serio da una parte e la Borlezza dall'altra hanno inciso profondamente il terreno morenico, che rende così palese la caratteristica struttura caotica. Nulla dirò dei ciottoli striati e della natura delle rocce componenti la morena, che appartengono tutte alle diverse specie che si trovano nell'alta val Seriana. Spiccano in modo particolare in

(1) V. sopra, a pag. 53, fig. 19.

ampie lastre e in massi voluminosi gli schisti neri e lucenti, riferiti all'epoca carbonifera, che hanno un così grande sviluppo nella regione prossima alla magnifica cascata del Serio.

Merita speciale menzione la catena dei colli che limita a nord il piano di Clusone, il quale alla sua volta rappresenta l'arena dell'anfiteatro morenico. Non so se possa trovarsi altrove un esempio più classico di colli arrotondati, trovandosi pure in un luogo dove la natura della roccia è quanto si può dire disadatta alla conservazione di tali documenti dell'epoca glaciale. Come indica la *Carta del sistema glaciale del lago d'Iseo* (Tavola II), il ghiacciajo della valle Seriana, uscito dalla stretta gola che lo incassava, buttossi a riempire l' ampio bacino di Clusone, il quale è tutto scavato in seno alla dolomia triasica, così facile allo sfacelo, e che forma tutte le montagne all'ingiro. Ma prima di guadagnare quel bacino, il ghiacciajo dovette scavalcare una fila di colli, e di rupi isolate, che formavano quasi uno steccato, che si allinea dal letto del Serio a quello della Borlezza, passando per Clusone. Superata quella barriera e inondato il piano di Clusone, andò ad arrestarsi, come abbiam veduto, contro il Pizzo Formico, creandovi la gran morena frontale della Selva che ne riveste le basi fra l'una e l'altra valle. Portandovi su detta morena e guardando a nord verso Clusone, vi si presenta il singolare paesaggio delineato nella *Tavola* XIX. Una fila di colli meravigliosamente arrotondati limita il piano di Clusone, ossia l'arena dell'anfiteatro morenico, e contrasta stranamente colle montagne irte e dirupate che occupano lo sfondo del quadro. Si badi bene a questo, che tanto le montagne aspre e scoscese, come i colli morbidi e arrotondati, sono composti dell'istessa dolomia. Ma i colli furono già sepolti sotto il ghiaccio e ne uscirono arrotondati, mentre le montagne che sorgono immediatamente dietro i colli, elevandosi al di sopra dell'antico ghiacciajo, conservarono tutta l'asprezza loro impressa dall'azione meteorica di tanti secoli. I colli arrotondati di Clusone devono al loro isolamento la propria conservazione. Quando fossero stati soggetti alle acque torrenziali che si precipitano dalle montagne circostanti, sarebbero già a quest'ora guasti e sfasciati, come i colli posti immediatamente ai piedi delle suddette montagne. Anzi alcuno di quei colli è già in via di rapida dissoluzione, e nessuno di essi conserva il liscio e le striature che doveva presentare quando uscì fuori dal ghiacciajo. Basta però l'arrotondamento, che è veramente meraviglioso. Si osservi anche sulla vetta dell'estremo colle a sinistra nella *Tavola* XIX un magnifico masso erratico, abbandonatovi dal ghiacciajo con altri milioni di massi, quando fu costretto ad abbandonare la valle. Vedremo più tardi la speciale importanza che acquista il ghiacciajo della val Seriana, come quello che alimentava il lago interglaciale della val Borlezza, già accennato nella descrizione dell' antico ghiacciajo del lago di Iseo (1).

VALLE DI SCALVE. — Abbiam già veduto come l'antico ghiacciajo dell'Oglio incrociando la valle del Dezzo (nome che prende il tronco inferiore della valle di Scalve), vi determinava la formazione di un lago glaciale, il quale occupava una gran parte della stessa val del Dezzo. La valle di Scalve però aveva proprio un ghiacciajo affatto indipendente da quello dell'Oglio, dal quale appunto era diviso per mezzo del lago suddetto, che esso appunto alimentava al modo stesso che il descritto ghiacciajo del Serio alimentava l'antico ghiacciajo della val Borlezza. In diversi punti, lungo la cupa gola del Dezzo, fra Mezzuno e il villaggio di Dezzo, si osservano vestigia di terreno lacustre-glaciale. È molto rimarchevole un deposito di argilla da mattoni, preservata dalla rapina del fiume in grazia di una rupe, che si avanza in mezzo alla gola, ed obbliga il torrente a tenersi sulla sinistra. Quella massa di argille, indubbiamente lacustri, è ora traforata parte a parte da una galleria, costrutta in servizio della nuova strada da Darfo a Schilpario. Fin qui siamo ancora, in certo senso, entro i dominî dell'antico ghiacciajo della val Camonica. Continuando la via verso il villaggio di Dezzo si incontrano ben

(1) V. sopra, a pag. 88.

presto gli indizî di un terreno morenico sviluppatissimo, proveniente immediatamente dall'alto bacino della valle di Scalve, cioè dalle montagne che lo cingono, come il M. Manina, il M. Gleno, il Pizzo Tornello (2677 m.), il Venerocolo, ecc. La morena frontale di quel ghiacciajo deve dirsi rappresentata da un cumulo veramente spettacoloso di terreno glaciale, diviso in parecchi grandi cumuli, alti da 200 a 300 m. sul letto dei rispettivi torrenti, che occupa una specie di gran circo, intorno a cui si levano a guisa d'immense muraglie la Presolana (1), il Gleno, il Tornello, il Venerocolo, ecc. Si vede chiaramente, stando lassù, come tutte quelle montagne che descrivono il bacino dalla parte di nord e nord-ovest (ad eccezione della Presolana) diedero origine a ghiacciai, i quali confluirono tutti insieme sul fondo del bacino, lasciando, quando si ritirarono, i fertili colli morenici di Azzone, Collere, Oltrepovo, Vilminore e Schilpario, ora coperti di prati, campi, e boschi ben nudriti. Il detrito morenico è del resto sviluppatissimo dovunque, fino a considerevoli elevazioni in seno ai diversi confluenti del Dezzo. Da Vilminore a Schilpario, p. es., si cammina sempre sopra una specie di terrazzo morenico enorme, che si appoggia alle montagne nord-ovest, e sul quale sono disposti i villaggi ricchi di campi e boschi di Vilmaggiore, Barzesto, Ronco, ecc.

Val Trompia. — Io credo che non possano mancare a questa valle i segni di un antico ghiacciajo o piccolo o grande; ma non potei finora averne notizia.

Val Sabbia o Valle del Chiese. — Abbiam veduto come l'antico ghiacciajo del Chiese, il quale avrebbe potuto porsi benissimo fra i principali, divenne, come quello dell'Adige, confluente del grande ghiacciajo del lago di Garda, a cui si riuniva per mezzo della valle Ampola. Come quello dell'Adige però dovette conservare, benchè molto impiccolita, la sua individualità, continuando come ghiacciajo autonomo il suo cammino lungo la valle del Chiese, fin là dove glielo avrà consentito la sua potenza. Infatti discendendo oltre Storo, dove si apre l'imbocco della val Ampola, il terreno glaciale, caratterizzato principalmente dai massi di tonalite e della puddinga carbonifera del Caffaro, continua verso il lago d' Idro. Sulla sponda occidentale di questo lago le montagne calcaree eccelse e dirupate descrivono, fra S. Giacomo e Rocca d'Anfo, un gran seno che offre uno dei migliori esempi di *morena insinuata.* Presso S. Antonio si presenta fra gli altri, a sinistra della via, un masso erratico di puddinga carbonifera di forse 600 metri cubici. Un altro accumulamento morenico è visibile al di là del lago, dove riempie la valle dei Funghi. Così il lago è parzialmente incassato quasi fra due terrazzi morenici che si elevano fino ad un'altezza di circa 100 m. sopra il suo livello. Il seno d'Idro sulla sponda orientale, presso l' estremità meridionale del lago, è colmato dalla morena, ed è un pezzo di essa che forma uno stupendo terrazzo, costituente la penisola di Leprato, che accenna a sbarrare il lago non lasciando che un angusto spazio all'emissario. Da Idro a Nozza si vede che il Chiese ha dovuto aprirsi la via attraverso la morena frontale strozzata entro la stretta gola della valle. I terrazzi e gli insinuamenti morenici si veggono dovunque sulla destra e sulla sinistra del fiume, appena esso non sia riuscito a mettere a nudo la dura roccia. Sono ammirabili soprattutto i campi di massi, rimasti sulla sponda del fiume, dove esso portò via il minore detrito. È stupendo quello fra Nozza e circa un mezzo chilometro più in giù. I massi sono composti di tonalite, puddinghe rosse e verdi, porfidi verdi, bruni o violetti, calcari, ecc. Qui la valle è una gola fiancheggiata da pareti montagnose a picco. Ma più in giù si allarga, ed agli ampî seni laterali corrispondono altrettanti accumulamenti morenici, formanti un bel sistema di terrazzi. Un grande gradino morenico si osserva, per esempio, a Sabbio, sulla destra, dove si appoggia alla base del M. S. Onofrio. Un altro, a piano inclinato, sulla sinistra, che occupa tutta la concavità della gran curva del fiume tra Pavone e Vobarno. Un terzo accumulamento morenico è quello che si distende sulla destra tra Vobarno e Pompignano. Questo rappresenta indubbia-

(1) Non pare che la Presolana, alta 2500 m. sul livello del mare, abbia dato origine da sè ad un vero ghiacciajo.

mente la morena frontale dell'antico ghiacciajo del Chiese. Infatti è là, che, come abbiam detto, si presenta netta netta la convessità delle estremità nord-ovest del grande anfiteatro morenico del lago di Garda, da cui quello del Chiese si tiene assolutamente distinto.

3. Antichi ghiacciai secondarî della Venezia e del Friuli.

Pei ghiacciai secondarî delle province venete e del Friuli ho sotto gli occhi un manoscritto gentilmente comunicatomi dal prof. Taramelli, che mi dispensa da ogni ricerca sulle diverse opere che trattano di questo argomento, comprese quelle già citate dello stesso Taramelli, che sono infine le sole a cui si potesse finora attingere, prescindendo dalle notizie sull'antico ghiacciajo del Tagliamento, documenti di qualche importanza sullo svolgimento dell'epoca glaciale in quella parte delle Alpi. Questo paragrafo dunque appartiene interamente al mio dotto amico.

Antico ghiacciajo dell'Agno. — « Il bacino di Recoaro, che si scarica pel torrente Agno, può aver accolto un piccolo ghiacciajo, perchè circondato da vette che attingono i 200 m., e formato in modo opportuno per lo stabilimento di vasti campi di neve. Sopra S. Quirico, allo svolto della valle, osservai un vasto accumulamento di terreno di trasporto con grossi massi, profondamente terrazzato dal torrente. Non ebbi tempo di studiarne la litologia e di cercarvi i ciottoli striati. Sospetto però che si tratti di un accumulamento morenico ».

Antico ghiacciajo dell'Astico. — « Dall'altezza delle montagne, che è di 2030 m. pel M. Lastro, e di 1290 pel M. Varena, si potrebbe arguire l' esistenza almeno di una antica vedretta. Ad ogni modo il ghiacciajo dell'Astico, come quello dell' Agno, non ebbero certamente alcun nesso coi ghiacciai principali ».

Antico ghiacciajo del Brenta. — « La valle del Brenta presenta tutti i migliori indizî dell'esistenza di un antico ghiacciajo, il quale potrebbe benissimo numerarsi fra i principali. Nel suo bacino idrografico possiamo distinguere la valle principale (la quale, descrivendo un morbido arco convesso verso nord-est, decorre dalla poco elevata sella di Levico (428 m.) fino alla chiusa profonda e tortuosa da Cismon a Bassano (125 m.)) dalle valli confluenti che discendono dalle montagne a settentrione, la più importante delle quali è la valle del Cismon. La valle principale, per la sella di Levico, che trovasi a soli 250 m. sul letto dell' Adige a Trento, venne invasa da un ramo dell' antico ghiacciajo dello stesso Adige, il quale si riunì ad un ghiacciajo proprio del Brenta, portandogli grosso tributo di materiale erratico alpino, specialmente felsitico. Così il ghiacciajo del Brenta risultava dalla confluenza di tre ghiacciai, quello proprio del Brenta, l'altro proveniente dall' Adige e quello del Cismon. Quest' ultimo dovette essere singolarmente potente, come quello che scaricava le navate dei monti dolomitici a settentrione, molto elevate, quali sono il Sass del Muz (2450 m.), il Sass di Campo (2730 m.), le Pale di S. Martino (3292 m.) e le Pale di Garez (3094). Per tale associazione formossi un considerevole mare di ghiaccio, legato in origine al sistema glaciale alpino, che dovette certamente far lungo cammino a valle. Ci sono infatti tutti gl'indizî di un ghiacciajo, che colmò interamente la gola dell'alto Brenta, elevandosi in guisa da inondare a ponente l'altipiano dei Sette Comuni, ove già il prof. Catullo e più recentemente il prof. Omboni hanno segnalato i massi erratici e le antiche morene ad elementi alpini. Il medio livello di quell' altipiano può fissarsi a circa 1000 m. sul livello del mare, quindi a 800 m. sul letto del Brenta. Si osserva però che il ghiacciajo del Cismon, prima di raggiungere quello del Brenta, immetteva un ramo verso la Piave, per la sella di Arten (453 m.) consegnando così all' antico ghiacciajo della Piave buona porzione de' suoi massi di sienite e granito ».

« Il ghiacciajo del Brenta, superte le chiuse, sboccò nel piano a soli 120 m. sull' attuale livello marino, dove si congiunse probabilmente con quello della Piave ».

Antico ghiacciajo dall' Isonzo. — « Dell' antico ghiacciajo dell'Isonzo riconobbi fin dal 1870 il limite laterale nei dintorni di Formino e di Caporetto, in corrispondenza, io credo, col periodo degli anfiteatri morenici. Rinvenni in seguito massi di porfido felsitico della Carinzia sui colli di Buttrio, Gradisca e Monfalcone, trovandone anche nelle antiche alluvioni dell'Isonzo. Osservai al tempo stesso che il tronco superiore della valle del Natisone, la quale comunica ad ovest di Caporetto per il passo di Starasella, presentava chiaramente arrotondate le falde de' suoi monti dolomitici. Da ciò si deduce che l'antico ghiacciajo dell'Isonzo era, come quelli del Tagliamento e della Piave, in relazione col sistema glaciale alpino. Questa relazione si manteneva mediante il passo del Predile (1184 m.). Di là vennero i massi di porfido sparsi per la valle dell'Isonzo, e il ghiacciajo che li portava, giunto a Caporetto, si espandeva sulla destra verso il passo di Starasella arrotondandone le rocce, e creando un piccolo ghiacciajo, che discese probabilmente per la valle del Natisone. È quindi del pari probabile che i due rami del Natisone e dell'Isonzo si riunissero a valle per giungere insieme al mare ».

VII.

SULL'ESISTENZA DI ANTICHI GHIACCIAI NEGLI APENNINI

Prima di inoltrarci nelle questioni che si affacciano naturalmente in seguito all'esposizione dei fatti comprovanti l'invasione degli antichi ghiacciai nell'alta Italia, credo bene di riportare, a modo di appendice, quel poco di analogo che si è riscontrato finora nell'Italia peninsulare, cioè negli Apennini e nelle catene dipendenti. Certamente nell'epoca glaciale le maggiori cime del rilievo peninsulare, ora sottratte al dominio delle nevi perpetue, dovevano esserne coperte, e quindi, dove sono ignoti i ghiacciai moderni, dovremmo incontrare le traccie degli antichi. Ma è questo, si può dire, uno studio da farsi. L'unico sito dove si riscontrarono finora non dubbie traccie di antichi ghiacciai, sono le Alpi Apuane, che diedero argomento ad una mia nota, letta al R. Istituto Lombardo (1).

Le Alpi Apuane sorgono fra la Toscana e la Liguria, e costituiscono una catena geograficamente e geologicamente distinta dagli Apennini, che si distende, irta di ignudi colossi di aspetto alpino, sopra una lunghezza di circa sessanta chilometri, ad un dipresso fra il 27° e il 28° di longitudine e i 43° 44° di latitudine. Credo che le Alpi Apuane sarebbero abbastanza ben definite comprendendo sotto questo nome la regione montuosa, chiusa fra la valle di Magra, il mare e il fiume Serchio che specialmente la divide dall'Apennino. Geologicamente le Alpi Apuane figurano come porzione della così detta *catena littorale*, la quale, morendo sulla sponda destra del Serchio fra Lucca e Pisa, risorge sulla sinistra dello stesso fiume, cambiando il suo nome con quello di Monte Pisano; continuandosi poi altro l'Arno colle montagne del Volterrano e di Massa Marittima, formandosi così una catena a sè, di aspetto alpino, parallela all'Apennino, ma disgiunta da esso per mezzo di una grande depressione, che fu probabilmente, come vedremo più tardi, teatro di fenomeni glaciali. Di certo posso aggiungere intanto che un antico ghiacciajo occupava appunto il tronco più elevato di uno degli attuali confluenti al Serchio.

Il prof. Igino Cocchi, nelle sue *Lezioni orali di geologia*, e più recentemente nella sua Memoria *Sulla geologia dell'alta Valle di Magra* (2), ha manifestato l'opinione che ghiacciai anticamente esistessero nelle Alpi Apuane. Avvertiva però che prove dirette gli mancavano fino allora, *forse perchè quelle montagne, costituite per la grandissima parte di calcari, mancavano di roccie dure abbastanza*,

(1) *Sull'esistenza di un antico ghiacciajo nelle Alpi Apuane* (Rendiconto del Reale Istituto Lombardo, 18 luglio 1872).

(2) *Memorie della Società Italiana di scienze naturali.* T. II, N. 5, 1866.

per conservarne così lungamente le tracce. Aggiungeva tuttavia di avere osservato uno strato di macigno (grès) nella valle della Magra, il quale, rimasto a nudo, si appalesava *solcato e attondato in modo analogo a quello che è offerto dalle roccie delle regioni delle ghiacciaje* (1).

Se, in seguito a quanto riferisce il prof. Cocchi, rimaneva ancora alcun dubbio circa l'esistenza di antichi ghiacciai nelle Alpi Apuane, esso deve assolutamente sparire. Il 12 giugno dell'anno 1872 ebbi occasione di fare una corsa nelle Alpi Apuane, in compagnia del compianto ing. Emilio Spreafico; e il giorno 13 ci recavamo nella Val d'Arni, dove ci veniva fatto di scoprire una bella morena frontale, testimonio sicuro dell' esistenza di un antico ghiacciajo, che occupava la parte più elevata di quel bacino.

L'alta Val d'Arni presenta un non vasto circo, chiuso a sud-ovest dal monte Altissimo (1590 m.) e dalle sue propagini; a nord-ovest dal monte del Vestito e dal monte Sella; a nord-est dal monte Sella e dal monte Fiocca, colle rispettive propagini, rimanendo aperto verso sud-est. Una lamina di monti, che si stacca da nord a sud fra il monte del Vestito e il monte Sella, divide quel circo in due valli, una a est, percorsa dal canale di Arni, l'altra a ovest, per cui discende il canale di Ciola. I due torrenti si riuniscono a Campogrino, sotto Arni Tognacci, per gettarsi così riuniti nella Tòrrite Secca, che è il vero fiume recipiente della Val d'Arni. È precisamente a Campogrino che si trova il limite inferiore della morena frontale accennata. Il ghiacciajo della Val d'Arni occupava evidentemente il doppio bacino, era cioè diviso in due piccoli ghiacciai, o vedrette, le quali si riunivano tra Arni e Campogrino, formando una sola fronte, delineata dalla morena. La stessa morena si presenta ora sotto forma di un gran cumulo detritico, che accenna a sbarrare tutta la Val d'Arni, appoggiandosi alle falde dell'Altissimo a ovest, e a quelle del monte Fiocca a est. È però naturalmente divisa in più parti dai due torrenti, e dai torrentelli minori.

La morena della Val d'Arni è composta quasi unicamente di massi di bianco saccaroide, roccia che costituisce quasi per intero le montagne all'ingiro della valle. Dalla parte dell'Altissimo abbiamo tuttavia degli schisti talcosi, talora quarziferi, che si veggono sparsi in poca quantità entro il minor detrito della morena. Alla presenza di queste roccie si deve certamente la striatura dei massi calcarei, fenomeno che ci si presentò nel modo più evidente alla estremità occidentale della morena, precisamente ove discende dal monte Altissimo. Il geologo potrà senza pena raccoglìervi dei ciottoli striati, non meno evidenti dei migliori offerti dalle antiche morene subalpine. La morena è per lo più incoerente; ma salendo da Campogrino ad Arni s'incontra un conglomerato, a elementi caotici, il quale non è altro che una porzione di morena cementata dal carbonato di calce, per l'azione delle acque pluviali.

La morena di Val d'Arni poteva considerarsi come pronostico sicuro della scoperta del terreno glaciale in tutte le Alpi Apuane. Se esisteva un ghiacciajo nella Val d'Arni, cioè in un bacino esposto in massima a mezzogiorno (2), ghiacciai dovevano certamente esistere, e presentare anzi un maggiore sviluppo sui versanti settentrionali, e precisamente nella valle del Serchio.

Difatti quasi contemporaneamente alla mia *Nota*, che portava questa previsione nei termini precisi in cui è espressa quì, e affatto indipendentemente da essa, venne alla luce una *Memoria* del prof. Giovanni Moro (3), che annunciava l'esistenza di un antico ghiacciajo, proveniente dalla valle del Serchio, e che avrebbe invasa una vasta porzione della Toscana. Lo scritto del Moro, benchè pregievolissimo, lascia desiderare quell'evidenza di argomenti scientifici, che forse egli stesso non ha potuto raccogliere sui luoghi per l'unica ragione che l'autore

(1) *Sulla geologia dell'alta Valle di Magra*, pag. 16.

(2) Benchè la Torrite, confluente del Serchio, appartenga ai versanti settentrionali delle Alpi Apuane, l'alto bacino della Val d'Arni è aperto a mezzogiorno, e a mezzogiorno sono direttamente esposte le montagne da cui discendeva l'antico ghiacciajo.

(3) *Il gran ghiacciaio della Toscana*, Prato 1872.

non si mostra abbastanza famigliare a questo genere di fenomeni, e non pare che li abbia mai studiati sul loro vero campo, cioè nelle Alpi, dove a scoprire le vestigia degli antichi ghiacçiai è di immenso ajuto la vista degli attuali. Tenendo dietro però ai particolari che il Moro va esponendo, pare che si possa con molta probabilità conchiudere che un antico ghiacciajo sia disceso veramente per la Valle del Serchio, ed abbia spinto fin quasi a Lucca la sua fronte. Del suo passaggio lungo la valle superiore del Serchio, sarebbe testimonio il grande sperone di monte tra Sesto e Borgo Decimo, che ha forma di cono, ed è, dice il Moro, arrotondato e scanalato. Gli stessi accidenti offrono le roccie che gli stanno rimpetto sulla destra del fiume. Giunto presso Lucca il grande ghiacciajo, dando di cozzo contro il Monte Pisano, sarebbe stato costretto a biforcarsi, continuando la sua via diviso in due rami. Il più piccolo ad ovest proseguiva per la valle del Serchio: il maggiore ad est invadeva il piano che, in forma di bacino irregolare, si dilata tra il Monte Pisano a sud, il Monte Pizzone a nord, e il Monte Albano ad est. Così sbarrava la valle della Pescia, e si avanzava fin presso la destra dell'Arno, spiegando la sua fronte tra Monte Albano e Monte Pisano. Ciò sarebbe attestato, secondo il Moro, dalla morena frontale, o anfiteatro morenico che si osserva sulla destra dell'Arno tra Fucecchio e la base orientale del Monte Pisano. Il prosciugato lago di Bientina e quello di Fucecchio, unitamente ai grandi depositi di torba, starebbero benissimo a rappresentare uno o più laghi intermorenici, paragonabili a quelli di Avigliana, nell'anfiteatro della Dora Riparia, di Viverone e di Caluso in quello della Dora Baltea, e ai tanti che occupano dovunque le arene degli anfiteatri morenici. Il Moro descrive poi altre morene, che entrerebbero benissimo nel sistema; ma bisognerebbe verificare meglio se presentano davvero tutto il complesso dei caratteri di tali formazioni. Veramente la disposizione di quelle masse detritiche non può essere più caratteristica, stando a quello che ne dice l'autore, tanto più che al sistema delle morene frontali si deve aggiungere quello delle laterali, doppie e triple, ugualmente accennate allo sbocco delle valli del Serchio e della Pescia. La struttura caotica di quei cumuli sarebbe anche benissimo indicata dal Moro quando dice che le colline, indicate come morene, squarciate dalle trincee della ferrovia, si mostrano *formate di multiformi terreni, raccolti alla rinfusa con ghiaje, argille, sabbia, ciottoli e grossi massi quali tondeggianti e quali angolosi, come in un colossale pasticcio.* Accenna anche i massi erratici, i quali però non sorpasserebbero il metro di diametro. Anche ad Arni io non ne vidi di così grossi come nelle Alpi, forse perchè le roccie toscane non presentano quella facilità di clivaggio in grande, a cui si devono i maravigliosi monoliti alpini di serizzo ghiandone, di serpentino, ecc. La provenienza dei massi trasportati dal ghiacciajo toscano non può essere più legittima, appartenendo esclusivamente alle montagne del Serchio e della Pescia, e ai Monti Pisano ed Albano. A dar piena conferma alle idee del signor Moro non mancherebbero che i *ciottoli striati*, che l'autore non ha osservato, forse per mancanza di pratica sufficiente.

Aggiungendo a quelle del prof. Moro alcune osservazioni del prof. Carlo De Stefani (1) verrebbe sancito, come è naturale nel caso, che il ghiacciaio del Serchio risultava dalla riunione di diversi confluenti, compreso quello della Tòrrite, che discendevano dalle Panie a sud-ovest, e dalle montagne dell'Apennino a nord-est. Il De Stefani insiste principalmente sopra un ghiacciajo che discendeva dall'Alpe di Corfino a nord di Castelnuovo di Garfagnana. Questo ghiacciajo, appartenente al vero Apennino, sarebbe rivelato dal detrito morenico sparso nella valle del Sauro, confluente del Serchio (2).

(1) *Gli antichi ghiacciai dell'Alpe di Corfino* (Bollettino del R. Comitato Geologico, 1874).

(2) Il signor De Stefani, non dando nessuna precisa nozione sulla natura dei depositi indicati come morenici, mostra di non possedere nemmeno lui pratica sufficiente in materia glaciale: motivo forse per cui negò più tardi egli stesso i ghiacciai di cui aveva affermata l'esistenza, classificando i terreni ritenuti morenici come alluvionali. Come prova che il sig. De Stefani non aveva perizia sufficiente per determinare i terreni glaciali, basti il fatto d'aver egli compreso nelle alluvioni la *morena* di Arni

Riconosciuta ad ogni modo l'esistenza di antichi ghiacciai nelle Alpi Apuane; mi pare che la si debba indubbiamente presupporre per le regioni dell'Apennino, dove le ragioni di un clima più meridionale dovrebbero essere annullate dalla maggiore elevazione (1).

Le maggiori cime che sovrastano alla Val d'Arni sono, per quanto mi consta, il monte Altissimo e il monte Sumbra, che levansi l'uno 1590, l'altro 1767 metri sul livello del mare. Il Sumbra però non tributava nemmeno al ghiacciajo in discorso. Nel gran gruppo dell'Apennino centrale abbiamo 1703 metri d'elevazione pel monte Catria, 1787 metri pel monte Melo, 2793 metri per la Majella e 2899 metri pel Gran Sasso. Sappiamo del resto che anche attualmente la Majella e il Gran Sasso non si spogliano di nevi che per brevissima stagione dell'anno, per cui un piccolissimo abbassamento del livello delle nevi perpetue vi permetterebbe lo sviluppo dei ghiacciai.

Veramente il sig. Ferrero (2) ritiene di avere scoperto gli indizi di un antico ghiacciajo dipendente dalla montagna della Majella, e parla con asseveranza di morene, di laghi glaciali, e di massi erratici, di cento, e fin di quattromila metri cubi. Confesso però che lo scritto di quel chiaro uomo non m'offre tutti gli elementi desiderabili in tale materia, perchè io possa ritenere come dimostrata l'esistenza di quell'antico ghiacciajo.

che è pure caratterizzata come non si potrebbe meglio. Vedi in proposito la mia Memoria *Sui rapporti del terreno glaciale col pliocenico* (Atti della Società Italiana di scienze naturali, Vol. XVIII).

(1) Ho già espressa questa opinione fin dal 1865 nelle mie *Note ad un corso di Geologia* (Vol. I pag. 191 della prima edizione).

(2) *L'antico ghiacciajo della Majella*, Caserta 1862.

VIII.

CARATTERE MARINO DELL' ANFITEATRO MORENICO DEL LAGO DI COMO

Ora che sappiamo che ebbe luogo in Italia una grande epoca glaciale, un'epoca in cui tutti i grandi ghiacciai della penisola presero enorme sviluppo e con altri, formatisi lì per lì nei luoghi ora spogli di neve perpetua, discesero verso il mare, seguendo ciascuno la via della valle nativa che gli serviva di letto; se non vogliamo accontentarci di considerare questo grande avvenimento come un qualunque fenomeno isolato, senza alcun nesso colla storia geologica della penisola; bisogna che il lettore si riporti a quanto si è detto sul cominciare (1) circa le condizioni dell'Italia nel periodo pliocenico, col quale si chiude la storia *dell'Italia sottomarina.* Il periodo glaciale (lo diciamo in prevenzione di ciò che verrà dimostrato) rappresenta appunto, per dir così, il nesso storico tra l'Italia sottomarina e l'Italia continentale.

Abbiamo veduto allora come, durante il periodo pliocenico, il mare Adriatico flagellava ancora il piede delle Alpi e delle Prealpi. *La Tavola I,* a cui ugualmente richiamo il lettore, era dedicata appunto a rappresentare, colla maggiore approssimazione possibile, la geografia della penisola in quel lungo periodo. Restava dubbio soltanto se, durante il periodo pliocenico, l'orografia delle Alpi e degli Apennini si presentasse completa in tutti i suoi tratti fondamentali; se per conseguenza esistessero già le grandi depressioni, le grandi spaccature, che ora sono valli e laghi inferiori d'assai al livello dei fondi pliocenici, per cui il mare dovesse penetrare in seno alle Alpi a quel modo stesso che penetra ora, con quel meraviglioso sistema di *fiords,* nell'interno delle terre boreali e australi, come nella Groenlandia, nella Norvegia, nella Scozia, nella Nuova Zelanda. Lo studio del terreno erratico ci tolse questo dubbio, mostrandoci come, durante l'epoca glaciale, che ad ogni modo venne dietro immediatamente (se non gli fu forse anche in parte contemporanea) al periodo pliocenico, l'orografia alpina era completa. Esistevano cioè come oggi, salvo modificazioni posteriori, i suoi rilievi e le sue depressioni. Furono infatti le catene, che si levano ancora in oggi coperte di nevi perpetue, quelle che determinarono i versanti, e delinearono i grandi recipienti degli antichi ghiacciai, dividendo, come fanno in oggi, la gran massa delle nevi

(1) Vedi sopra, a pag. 11-12.

alpine in tante masse indipendenti, che, converse in altrettanti ghiacciai, discesero verso il mare. Le valli ora percorse dai fiumi od occupate dai laghi, furono le vie tenute dai ghiacciai nella discesa. Se questo avveniva quando si deponevano le argille azzurre del pliocene, quando cioè l'Adriatico si insinuava ancora fino ai piedi delle Alpi e delle Prealpi, non v'ha dubbio che il mare penetrasse allora in seno alle stesse montagne, per mezzo dei laghi e delle valli, che figuravano come altrettanti *fiords*. In questo caso l'epoca glaciale sarebbe una immediata continuazione dell'epoca pliocenica; anzi le due epoche potrebbero essere equivalenti, almeno per un certo tratto. Per immaginarci l'Italia d'allora, dovremmo sostituire all'attuale pianura il mare; vedere i ghiacciai alpini discendere per la via dei *fiords*, e spingere in mare le loro fronti. Dovremmo vedere dal fondo stesso del mare sorgere gli anfiteatri morenici, flagellati dalle onde marine: dovremmo veder quindi, al ritirarsi dei ghiacciai, i *fiords*, sbarrati dagli anfiteatri morenici, intercettati in guisa da toglier loro ogni communicazione diretta col mare, convertirsi in laghi. Dovremmo poi narrare come si formasse la pianura, che venne a sostituirsi al mare pliocenico; come nascesse quella parte più ricca, più popolosa dell'Italia, dove il Po si torce per mille meandri, in mezzo a cento città, edificate sui vasti altipiani, sui terrazzi d'alluvione, e sulle basse pianure che, via via scendendo, si perdono sotto il mare dell'epoca nostra.

Sono questi i rapporti storici tra il periodo pliocenico e l'epoca glaciale che io credetti di dover ammettere molti anni prima che la scienza, padrona di una serie di fatti luminosissimi, ne mostrasse l'esattezza. Io sostenni difatti, nelle mie *Note ad un corso di Geologia* pubblicate tra il 1866 ed il 1870, e più distintamente nel mio *Corso di Geologia*, pubblicato nel 1873:

1.° Che il periodo glaciale era succeduto immediatamente, senza nessun intervallo, al periodo pliocenico;

2.° Che le sabbie gialle subapennine, sovrapposte alle argille azzurre del periodo pliocenico, e considerate come pliocene superiore, erano equivalenti, cioè contemporanee del terreno glaciale;

3.° Che durante l'epoca glaciale il mare non erasi ritirato dalle Alpi, e penetrava ancora nelle gole che profondamente le incidono come ora nei *fiords* nelle regioni circompolari, finchè le suddette gole o valli alpine furono occupate dagli antichi ghiacciai i quali, edificando i loro anfiteatri allo sbocco di quegli antichi *fiords*, questi avevano intercettati, e costretti in seguito a convertirsi in laghi.

Le mie idee però non furono divise dai geologi; furono anzi combattute da tutti, quasi senza eccezione. Alle mie viste si opposero altre. Si osservava che posteriormente alla deposizione delle argille e delle sabbie superiori aveva avuto luogo un sollevamento di quasi tutta la regione subalpina e subapennina. Questo sollevamento aveva preceduto l'epoca glaciale, od era stato concomitante o conseguente ad essa? Se l'aveva preceduta, il mare si sarebbe già fin d'allora ritirato dalle Alpi, e i ghiacciai sarebbero venuti già a deporre le loro morene sui fondi già asciutti del mare pliocenico, o sui delta delle alpine valli. Alcuni, nominatamente i signori Gastaldi e Mortillet, sostenevano anzi che alla deposizione delle argille e delle sabbie plioceniche avesse tenuto dietro la formazione di una primitiva pianura alluvionale, sostituitasi al mare pliocenico assai prima che scendessero gli antichi ghiacciai. Alla costruzione di questa antica pianura eridana avevano contribuito, secondo le loro idee, tutti i fiumi degli Apennini e delle Alpi, quelli compresi che, avendo ora il loro tronco inferiore disgiunto dal superiore per mezzo dei laghi, non possono più portare alla pianura nemmeno un ciottoletto levato immediatamente dalle Alpi. Questi fiumi adunque, per portare la loro porzione di materiali alla costruzione della primitiva pianura, avevano dovuto colmare di depositi alluvionali i laghi stessi. Sarebbero quindi venuti i ghiacciai a spazzarli, spingendosi innanzi tutta quella massa di antico detrito alluvionale, confuso col nuovo detrito glaciale, per rovesciare il tutto sulla pianura, erigendovi gli anfiteatri morenici. Un'epoca alluvionale, rappresentata da un così detto *diluvium*, si sarebbe interposta tra il periodo pliocenico ed il periodo glaciale, e la geologia

d'Italia dovrebbe presentare, come nesso tra l'Italia sottomarina e l'Italia continentale, la seguente serie di terreni:

Pliocene inferiore — argille azzurre,
Pliocene superiore — sabbie gialle,
Post-pliocene — { diluvium,
epoca glaciale }

Niente di più falso. L'epoca glaciale, lo ripeto, segue immediatamente quella delle argille azzurre del pliocene: le sabbie gialle non sono che l'equivalente marino del terreno glaciale: il *diluvium* interposto è immaginario. Sulla fine del periodo delle argille azzurre la geografia d'Italia era quella che è delineata, più o meno approssimativamente, nella *Tavola I*. Il mare si frangeva ancora contro le basi delle Alpi e delle Prealpi, costituite in genere dagli strati eocenici e miocenici sollevati; si insinuava nelle grandi valli alpine, come in altrettanti bracci di mare o *fiords*. Contemporaneamente le nevi, accumulate sulle vette e sui fianchi delle Alpi, generavano i ghiacciai, e questi, dopo aver percorsa tutta la parte superiore delle valli, trovavano il mare all'estremità interna del rispettivo *fiord*, e colmatolo interamente, sboccavano nel mare aperto, dove ora sorgono gli anfiteatri morenici e si distendono gli altipiani e la pianura che si sostituirono e vanno ancora sostituendosi al mare con lento processo. Il deposito delle *argille azzurre* non era finito quando vi arrivarono i ghiacciai. I primi massi di ghiaccio, staccandosi dalle fronti di essi, venivano galleggiando sulle acque, e disseminavano i primi ruderi delle vette sbranate delle Alpi in seno alle argille. I ghiacciai si avanzano; ormai è dalla loro fronte che diluviano i massi, i ciottoli, le sabbie, i fragmenti glaciali sul fondo del mare, che si sforza di rimestarli, di roderli, di distribuirli in depositi stratificati. Ne nasce un deposito *marino-glaciale* sparso di reliquie di organismi marini. Ma l'azione glaciale prevale; il deposito va sempre più perdendo il carattere marino, mano mano che acquista il morenico. Ormai il mare, respinto dalla *morena di fondo* che lo va colmando, non può che durante le tempeste aggredire il lido morenico e la fronte del ghiacciajo, trasformando i ciottoli striati o di forma glaciale in ciottoli discoidali di forma marina, e buttando sul lido le spoglie infrante delle conchiglie, che l'onda scopa dal fondo argilloso o sabbioso. Ma il ghiacciajo prevale sempre più, e sul fondo colmato del mare, sui depositi che respirano la lotta tra i due formidabili agenti della natura, erge finalmente le sue schiette morene, tende l'arco del suo anfiteatro. I *fiords*, rimasti così intercettati dall'edificio morenico che si innalza al loro sbocco, servono per lungo tempo di letto ciascuno al rispettivo ghiacciajo, e ritiratosi questo, si convertono in laghi.

Ecco quanto dimostrerò in questo e nei seguenti Capitoli, cominciando dalla semplice esposizione dei fatti più salienti principalmente desunti da studî fondamentali sopra due dei principali anfiteatri morenici dell'Alta Italia: quello di Como e quello d'Ivrea (1).

(1) Le recenti scoperte, fatte entro i dominî dell'anfiteatro morenico del lago di Como, le quali vennero a dare conferma a quanto aveva dimostrato fin dal 1867 nelle mie *Note ad un Corso di geologia* (Vol. II, §§ 562, 563) e più ampiamente nel mio *Corso di geologia* (Vol. II, §§ 1252, 1255), furono primitivamente esposte nella mia memoria *Il mare glaciale a' piè delle Alpi*, inserta nella *Rivista italiana* del 1874, a cui tenne dietro come *Appendice* l'altra *Sui rapporti del terreno glaciale col pliocene nei dintorni di Como*, negli *Atti della Società italiana di Scienze naturali* (Vol. XVIII, 1875). Quelle scoperte diedero luogo a diversi scritti polemici di Desor, Rütimeyer, Favre, Sordelli, Mercalli, Taramelli. I fatti relativi all'anfiteatro della Dora Baltea, ossia d'Ivrea, sono qui esposti e discussi per la prima volta, prescindendo dal breve cenno che ne fece in una *Appendice* al giornale *La Dora Baltea* (5 ottobre, 1876) il signor Luigi Bruno a cui è devoluto il merito principale della scoperta, e delle relative osservazioni. Per comodo dei lettori ecco l'elenco degli scritti a cui si riferiscono i seguenti paragrafi. — Stoppani, *Il mare glaciale a' piedi delle Alpi*, ecc. 1874. — Spreafico, *Conchiglie marine nel terreno erratico di Cassina Rizzardi*, Atti Soc. Ital., Tom. XVII, 1874. — Stoppani, *Sui rapporti*, ecc., 1875. — Desor, *Le paysage morainique*, Neuchâtel, 1875. — Gastaldi,

1. Scoperte nel bacino pliocenico-glaciale di Balerna.

Io aveva già rimarcato da lungo tempo i rapporti stretti, anzi immediati, che esistevano, in linea stratigrafica, fra il terreno subapennino al piede delle Alpi, e il terreno glaciale. Essi potevano già farmi supporre ragionevolmente che l'epoca glaciale fosse succeduta immediatamente alla pliocenica, anzi che i ghiacciai delle Alpi fosser venuti a sboccare nel mare pliocenico. Alla Folla d'Indúno, per esempio, nella classica località già da tanto tempo nota ai geologi per le sue argille azzurre, ricche di fossili strettamente pliocenici, e di foglie di piante terrestri, aveva osservato come le morene si sovrappongono immediatamente alle argille stesse, coll'intermezzo di alcune sabbie d'indole littorale. Le argille della Folla d'Induno si sviluppano largamente ad est, lungo l'Olona, in strati quasi orizzontali, adeguando le irregolarità delle marne cretacee, o di altri terreni antichi, sollevati quasi verticalmente. Gli strati pliocenici poi sono ovunque coperti immediatamente dal terreno glaciale. Più in là, nella valle della Bevera, scavata profondamente nel terreno glaciale, si scoprono, sempre inferiormente a questo, le argille azzurre. Io le trovai prive di fossili, ma non dubitai di ascriverle ugualmente al terreno pliocenico, mentre si trovavano nelle stesse condizioni litologiche e stratigrafiche, ed erano anzi una continuazione di quella della Folla, la cui età era assicurata dai fossili. Nè doveva del resto meravigliarmi che fossili non vi avessi scoperto, mentre anche alla Folla d'Induno sono assai scarsi, e quasi irreperibili ad un osservatore di passaggio. L'abbondanza di quelli che si trovano nei musei devesi ai continui scavi che vi si fanno per la fabbrica dei mattoni, mentre altrove non sono scavate. Continuando sempre verso oriente, eccoci entro il bacino, che si apre fra le montagne di Mendrisio a nord, le colline di Camerlata e il monte Olimpino a sud. Quel bacino, che noi chiameremo *bacino di Balerna*, è tutto riempito dal terreno glaciale, entratovi per la doppia via del lago di Lugano e del lago di Como. Le morene, erose in tutti i sensi, vi rimangono in forma quasi di un labirinto inestricabile di colli. Ma i torrenti, quello principalmente che da Mendrisio discende sotto Balerna, e va a gettarsi nella Breggia sotto Chiasso, hanno inciso profondamente le morene, ne hanno trovate le basi, hanno messo allo scoperto le argille azzurre che sottostanno alle morene, e si sprofondarono talora fino al punto da mettere a nudo le arenarie e i calcari marnosi della creta, sopra le quali si adagiano orizzontalmente le argille. Chi vuol godere questo spettacolo geologico, discenda alle Fornaci sotto Balerna e, dimenandosi un po' all' ingiro di esse, potrà facilmente impossessarsi di tutta la serie dei terreni e dei rapporti che esistono fra essi. La serie dei terreni alle Fornaci di Balerna, messa in tutta evidenza da quella serie di audaci trincee che vi furono praticate per la ferrovia del S. Gottardo, e da me visitate molte volte durante i lavori, è dal basso all'alto la seguente:

1.° Arenarie e calcari arenacei marnosi della creta, sollevati quasi verticalmente, formanti il fondo originario del bacino, prima che vi si deponessero le argille;

2.° Argille azzurre o giallastre, plastiche, figuline, a strati orizzontali. Queste argille adeguano perfettamente tutte le irregolarità, colmano tutti i seni, tutte le infossature degli strati cretacei sottoposti;

3.° Strati sabbiosi, ghiajosi, ciottolosi, sovrapposti alle argille, e sottoposti, *senza limite definito*, allo schietto terreno glaciale;

Sur les glaciers pliocènes de M. Desor, Atti R. Accad. di Torino, 1875. — C. Mayer, *Memoria presentata alla riunione della Società geologica di Francia a Ginevra*, nell' agosto, 1875. — Sordelli, *La fauna marina di Cassina Rizzardi*, Atti Soc. Ital. T. XVIII, 1875. — Favre, *Note sur les terrains glaciaires et post-glaciaires du revers méridional des Alpes*, Archives de Genève, 1876. — Sordelli, *Nuove osservazioni sulla fauna di Cassina Rizzardi*, Atti Soc. Ital., Tom. XVIII, 1876. — Rütimeyer, *Ueber Pliocen und Eisperiode auf beiden Seiten der Alpen*, Basel, 1876. — Mercalli, *Osservazioni geologiche sul terreno glaciale dei dintorni di Como*, Atti Soc. Ital., 1876 (sotto i torchi).

4.° Schietto terreno glaciale, ossia antiche morene.

Era dunque evidente, prescindendo da ogni altra osservazione, che il mare pliocenico aveva occupato da prima il bacino di Balerna, il cui fondo era formato dagli strati sollevati della *creta*, deponendovi le argille, e che sovra di esse, senza un deciso intermezzo, gli antichi ghiacciai erano venuti a deporre le loro morene. Era indubitato che i depositi pliocenici, i quali dalle colline del Piemonte passavano ai dintorni di Varese, e dai dintorni di Varese a Balerna e Chiasso, e via via fino ad Almenno, Nese, Castenedolo, nelle provincie di Bergamo e di Brescia, segnavano i confini del mare pliocenico al piede delle Prealpi. Ma quando erano discesi quei ghiacciai? Il mare pliocenico era ancora mare, od era già fondo marino sollevato e prosciugato? Con altre parole, i ghiacciai succedettero immediatamente alle argille plioceniche, invadendo il mare pliocenico, ovvero vennero soltanto a coprirle dopo un intervallo di tempo, durante il quale si sarebbero modificate profondamente le condizioni del paese, anzi del globo, e sarebbe avvenuto un sollevamento della regione subalpina, del valore almeno di 270^{m}? (1)

Per rispondere a questi quesiti era necessario anzi tutto stabilire: 1.° se le argille di Balerna, erano, com'io credeva, veramente plioceniche; 2.° quali erano precisamente i rapporti fra le argille o le morene sovrapposte; cioè se di immediata successione, o di semplice sovrapposizione.

L'età delle argille poteva dirsi già fissata dal fatto che esse si trovano nelle stesse condizioni delle argille plioceniche della Folla d'Induno, di cui sono anzi evidentemente la continuazione. Per togliere ogni dubbio però dovevano trovarsi dei fossili; e questi non hanno potuto sottrarsi lungamente alle solerti investigazioni degli esploratori di quella contrada. Il sig. Carlo Fumagalli riuscì a scoprirne a Pontegana nello stesso bacino di Balerna. Sono fossili pliocenici, e due specie sono identiche a quelle della Folla d'Induno (2). Le osservazioni e le scoperte accennate fin qui, sono abbastanza antiche, perchè io abbia potuto raccoglierle nel mio *Corso di geologia* (3) pubblicato nel 1873; e' mi pare che avrebbero dovuto meritare tutta la considerazione da parte di certuni, che assai più tardi mostrarono, non dirò di disprezzarle, ma di ignorarle affatto. Esse però ebbero facilmente la virtù di chiamare ripetutamente sul luogo i miei amici prof. Sordelli, Spreafico e Pavesi, i quali sentivano quanto fosse vicina la soluzione del grande problema dei rapporti fra gli ultimi depositi marini e l'antico terreno glaciale al piede delle Prealpi. Visitarono pur eglino il deposito di Pontegana, e vi raccolsero, colle conchiglie marine, foglie di piante dicotiledoni. Ma fenomeni ben più decisivi li aspettavano a qualche centinajo di passi più in là. Essi erano là alle Fornaci di Balerna il 22 settembre 1873. I loro piedi posavano sul piano superiore delle argille plioceniche, e le loro mani afferravano i ciottoli striati delle sovrapposte morene. Tutti intesi a decidere se si trattasse di un semplice fenomeno di sovrapposizione, piuttosto che di una immediata successione, un fenomeno, non mai osservato in Italia, li arresta e li sorprende. I ciottoli striati, questi inappellabili testimonî degli antichi ghiacciai, dopo aver formato le schiette morene sovrastanti, discendevano abbondantemente nella breve zona sabbiosa e ghiajosa, che sta immediatamente sopra le argille, poi varcavano i confini stessi delle argille, e si conficcavano in quei regolarissimi strati d'origine marina. Abbondantissimi negli strati più superficiali, più radi mano mano che si andava discendendo, i ciottoli striati guadagnavano pur sempre le maggiori profondità a

(1) Le fornaci di Balerna, costrutte sugli strati superiori delle argille plioceniche, sono elevate 274 metri sul livello del mare.

(2) I fossili raccolti allora dal Sig. Fumagalli a Pontegana, e determinati dal prof. Spreafico sono *Cassidaria tyrrhene*, Chemn., *Pecten De Filippi*, Stopp., *Arca diluvii*, Lk., *Axinus flexuosus*, Mont., *Cytherea rudis*, Poli. Il Sig. Sordelli vi aggiunse più tardi le seguenti specie: *Cassidaria echinophora*, Linn., *Nassa costata*, Brocc., *Cuvieria ustesana*, Rang., più i vegetali fossili: *Sequoja Langsdorffii* Bgt., *Salix denticulata*, Heer., *Juglans acuminata*, A. Braun, *Prinos hyperboreus*, Hunger, *Hipnum sp.*

(3) Vol. II, § 1021.

cui erano giunti gli scavi: tanto che alla profondità di due o tre metri entro le argille più schiette, a strati regolarissimi, di pretta origine marina, si trovavano ancora dei grossi ciottoli, meravigliosamente striati, con tutte le fedi più autentiche della loro origine glaciale.

Dunque era deciso. Nelle argille azzurre plioceniche, che si distendono senza interruzione alla base delle Alpi e delle Prealpi, passando dal Piemonte in Lombardia fino alle vicinanze del Lago di Garda, sparse di fossili nelle vicinanze e nel centro stesso del bacino di Balerna, al Faido, alla Folla d'Induno, a Pontegana, in queste argille, dico, schiettamente marine, si trovano in abbondanza massi e ciottoli schiettamente glaciali. Dunque il mare occupava ancora il bacino di Balerna, quando vi giunse il ghiacciajo a deporvi i suoi ciottoli.

Ma le argille alle Fornaci di Balerna sono poi veramente marine? Sfido a separarle dall'immenso deposito marino, a cui appartengono così visibilmente. Oggi tra le argille delle Fornaci e quelle di Pontegana non c'è di mezzo che la ferrovia, fiancheggiata dalle une a destra dalle altre a sinistra. La stessa ferrovia, come diremo più sotto, fu scavata nelle argille. C'è questa sola differenza tra le argille delle due prossime località accennate, che quelle delle Fornaci, scoperte dal lavoro umano, sono più molli, appartenendo alla porzione superiore del deposito, mentre quelle sotto Pontegana, in riva al confluente della Breggia, da cui vennero messe a nudo, sono un pochino più compatte, e costituiscono evidentemente una porzione più profonda del gran deposito delle argille azzurre. C'è difatti una differenza di 8 metri di livello tra il piano delle Fornaci e il pelo della Breggia (1). Perciò anche le argille di Pontegana sono più schiettamente marine, non essendo commiste a detrito glaciale. Però, per togliere veramente ogni dubbio sulla origine marina delle argille a ciottoli striati, il Sig. Spreafico, in una gita eseguita da solo più tardi, raccolse proprio alle Fornaci di Balerna, in mezzo ai ciottoli striati, un bellissimo *Echino*, del genere *Brissopsis*, così ben conservato, ad onta della sottigliezza pellicolare del guscio, da non permettere di dubitare nemmeno per un istante che esso non sia nato e cresciuto in posto, in seno a quelle argille, quando la sua vita era già posta a repentaglio dai massi che cadevano dalla fronte del ghiacciajo che faceva tetto al fondo marino.

Quando mi vennero ad annunciare una tale scoperta, ne rimasi meravigliato fino a dubitare dell'esattezza delle fatte osservazioni. Ma v'era egli ragione per me di meraviglia e di dubbio? Non aveva io già sostenuto che il terreno glaciale succede immediatamente alle argille plioceniche, e che i ghiacciai erano venuti a sboccare entro golfi di mare, ossia *fiords*, mediante i quali il mare penetrava in seno a tutta la regione delle Prealpi e andava a flagellare le basi delle stesse Alpi? Ma è così: quand'uno ha sudato lungo tempo a raccogliere le prove di ciò ch'ei crede vero, se trova una prova definitiva, irrecusabile, ne rimane egli stesso sorpreso e meditabondo. Naturalmente non v'era bisogno di spinta perch'io mi portassi sui luoghi a verificare dei fatti così interessanti; ed ecco brevemente il risultato delle mie visite ripetute.

Sulla sponda occidentale del Lago di Como, precisamente sotto M. Olimpino, esiste un rialzo, che riunisce le colline mioceniche di Camerlata col gruppo liasico che ha per punto culminante la vetta del Bisbino. Questo rialzo ha in seno una piccola valle, che accusa un *salto* fra le puddinghe mioceniche e i terreni più antichi appartenenti all'epoca del Giura. Il rialzo stesso veniva traforato dalla galleria per cui passa la ferrovia del Gottardo, con imbocco a oriente quasi al livello del lago, e lo sbocco a occidente in vicinanza di Chiasso. Detto rialzo intanto separa il bacino del lago di Como dal *bacino di Balerna*, bacino interno quest'ultimo, che si allarga fra le colline di M. Olimpino a sud, e i monti di Mendrisio a nord, ed è precisamente il campo sul quale si verificano i fenomeni già esposti.

(1) Le misure prese dal marchese Rosales Cigalini assegnano al piano delle Fornaci di Balerna 274 m. ed alle argille in riva alla Breggia 266 m. di elevazione sul livello del mare.

Le morene dell'antico ghiacciajo del lago di Como riempiono la valle scavata in seno al rialzo, e superano il rialzo stesso, gettandosi nel *bacino di Balerna*, dove naturalmente s'incontrano e si fondono colle morene che provennero dal lago di Lugano per la gola di Mendrisio. Il *bacino di Balerna* è quindi, come già dissi, tutto invaso e ricolmo dal terreno glaciale, salvo in quei punti dove venne profondamente scavato dai torrenti che misero a nudo i terreni sottostanti. Allo sbocco della galleria, in vicinanza di Chiasso, si dovette eseguire una trincea che incise le morene fino alla base. Le acque stagnanti, quasi sul piano della ferrovia, accusano presso lo sbocco del tunnel, le argille plioceniche, appena coperte da un leggiero strato di terreno glaciale. Ma il piano della ferrovia si va abbassando in rapporto al piano della stratificazione, sicchè la ferrovia stessa trova le argille plioceniche un poco più in là, ed alle Fornaci sotto Balerna le incide fino alla profondità di 3 o 4 metri. In questa incisione, che mise a nudo la piccola zona sabbiosa e ciottolosa alla base delle morene, e la zona sottostante delle argille marine azzurre, veggonsi queste zeppe di ciottoli e di massi striati, scoperti, come già dissi, per la prima volta da' miei amici ed ora verificati da me e da quanti vi andarono dopo di me.

Essa trincea si era molto avanzata dopo le visite dei nominati amici. Qualche centinajo di metri a occidente delle Fornaci, il piano della ferrovia, sempre infossata parecchi metri nelle argille, andava a dar di cozzo contro un rilievo composto di strati cretacei, sollevati fin presso la verticale. Quel rilievo formava un piccolo seno, riempito dalle argille plioceniche, stratificate orizzontalmente, e dal detrito glaciale ad esse sovrapposto. Ormai però le argille non si potevano più dire argille, ma un impasto, un caos, di ciottoli e di massi glaciali, accatastati a mille, a milioni in seno alle argille. Queste infatti, mantenendo pur sempre la loro natura, il loro livello, la loro stratificazione orizzontale, non servivano ormai più che di molle cemento ai ciottoli, ai massi di più metri di diametro, irregolarmente arrotondati, stupendamente lisciati, in tutto e per tutto di schietta origine glaciale. Gli operai non sapevano ormai più se lavorassero nell' argilla o nella morena, ed avevano fatto di quei massi enormi catasti a lato della ferrovia. Prima che fossero barbaramente spezzati, e impiegati nelle costruzioni, li avrebber dovuti vedere quelli che non sanno intendere ancora che siano i ciottoli e i massi striati. Vi erano dei calcarei di qualche metro di diametro, tutto coperti di striature nette, lampanti, d'un parallelismo quasi perfetto. Si vede chiaramente che il ghiacciajo, uscito dalla strozza delle valli alpine, superando le colline per gettarsi nella libera pianura, procedeva così regolarmente, come una massa fluente senza ostacoli, che i massi impigliati potevano mantenere lungamente un' uguale direzione. Ecco il motivo del parallelismo di quelle striature, il quale non si verifica altrove che in via di eccezione, mentre qui è comune. La meravigliosa freschezza della striatura si deve poi certamente all'argilla che, inviluppandoli, servì loro di intonaco preservativo. Ma a visitare quella località, quando il terreno era tutto squarciato e messo a nudo, avrebber dovuto andare specialmente coloro che dubitano ancora dell'esistenza di ciottoli striati, anzi di intere morene, nelle argille marine plioceniche, per non dire della immediata successione del terreno glaciale ai depositi pliocenici. C'è però sempre ancora tanto che basti anche pei più esigenti, mentre le argille a ciottoli striati si continuano, e si continueranno, chi sa fino a quando, a scavare alle Fornaci di Balerna.

Vi può essere tuttavia chi trovi modo ancora di mettere in mezzo un dubbio già accennato. — Non potrebbe darsi che, arrivando i ghiacciai, Dio sa in quale epoca, a sovrapporsi alle argille plioceniche già sollevate, già emerse dal mare, potessero i ciottoli e i massi glaciali sprofondarsi in dette argille e figurare contemporanei delle conchiglie marine, mentre non sono che intrusi venuti chi sa quanti secoli dopo?

Si può intendere fino a un certo punto come i ciottoli glaciali potessero sprofondarsi nelle argille, quand'esse erano ancora allo stato di molle fango sul

fondo del mare. Ma come un ciottolo assai pesante potesse infossarsi a 3, a 4 e fino, come ho osservato nella descritta trincea, a 12 m. di profondità nelle argille già emerse, già prosciugate, già convertite in durissima pasta; questo non lo intendo affatto. Ma si badi bene. Se alla profondità di 3 o 4 m. si trovano ciottoli e massi grossissimi, si trovano anche, e in troppo maggior numero, ciottoli ordinarî e piccolissimi ciottoletti. Questi ciottoletti dunque non si sprofondarono punto nelle argille marine quando erano già sollevate; non vi si sprofondarono nemmeno quando le argille si trovavano nello stato di molle fango sul fondo del mare: ma caddero sul fondo stesso, quando le argille erano ancora in formazione, di maniera che i primi ciottoli caduti furono impigliati e sepolti nelle argille che si formarono poi. Riflettiamo poi che se i massi glaciali sono caduti là dentro, dopo che era già compito il deposito delle argille marine, per sprofondarsi, supponiamo, fino a tre metri, dovevano rompere gli strati fino a quella profondità, e nessuno di certo sarebbe andato a riunirli dappoi, sicchè noi non ci accorgessimo di quella rottura. Ma gli strati non sono punto rotti. Osservai dei massi grossi, ed isolatissimi, sopra i quali gli strati di argilla erano perfettamente regolari e continui. Questi strati adunque si sono formati, si sono deposti, dopo che i massi glaciali erano già caduti sul fondo del mare.

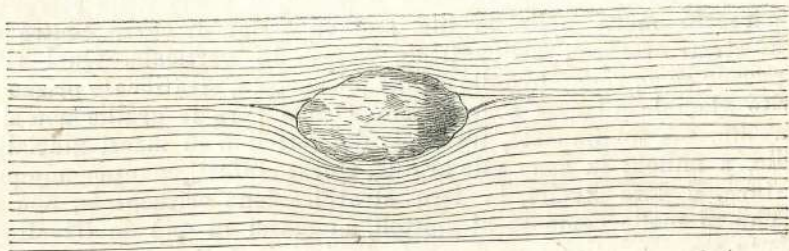



Fig.ª 39. — Masso striato glaciale nelle argille marine plioceniche alle Fornaci di Balerna.

Se non basta, sono in grado di fornire al lettore una prova irrecusabile di quanto asserisco. Per levarmi infatti ogni dubbio circa l'infossamento dei massi glaciali anteriormente al deposito degli ultimi strati di argilla, dissi così fra me e me: « Supposto che un ghiacciajo si avanzi in mare, e che i massi delle morene, sdrucciolando dall'alto di esso, cadano sul fondo argilloso del mare; gli strati più superficiali d'argilla dovranno almeno un pochino spostarsi, curvandosi sotto il peso del masso, in guisa da formare una ripiegatura concava, cioè una piccola sinclinale. Le argille che si depongono poi dovranno invece modellarsi sul masso che sporge dal fondo, e così gli strati che lo verranno ricoprendo, disegneranno una ripiegatura convessa, una volta, cioè una piccola anticlinale. » Fatto questo ragionamento nel silenzio del mio gabinetto, mi recai un'altra volta a bella posta sul luogo, per vedere se il fenomeno si verificava secondo le mie previsioni. Scelto un luogo dove le argille erano più nettamente e più regolarmente stratificate, e chiudevano in seno due massi isolati, del diametro di 25 centim. o poco più, osservai precisamente come gli strati si ripiegavano all'ingiù, cioè sinclinalmente sotto l'uno e l'altro masso, mentre al di sopra di essi si piegavano all'insù, ossia anticlinalmente, precisamente, e meglio ancora che non sia espresso nella figura 39. Ebbi a testimonî di questo fatto i Sig. Marchese Rosales Cigalini, e ragioniere Franceschini, entrambi studiosi di scienze naturali, e più tardi i Signori Desor, Taramelli e Mercalli (1), coi quali potei assicurarmi che si trattava

(1) Il citato ragionamento era già stato fatto da Geikie (*The geological magazine*, 1864, pag. 22) per dimostrare l'esistenza d' una bomba lanciata da un vulcano nell'epoca carbonifera in Scozia. Un pezzo di lava (*greenstone*) piriforme vedevasi confitto verticalmente in mezzo agli strati carboniferi. Esso era caduto dall'alto sul fondo del mare carbonifero, certamente durante la formazione degli strati carboniferi Infatti quella bomba riposava sopra strati d'argilla ripiegati sinclinamente, ed era coperta da altri

di un fenomeno, non già eccezionale, ma comune per tutti i ciottoli piccoli e grandi, che si trovano entro le argille.

Si può dunque conchiudere, per riguardo al bacino di Balerna, che gli antichi ghiacciai, discesi agli sbocchi delle valli prealpine, dove son ora le colline e la pianura, trovarono il mare pliocenico ancora inteso a fabbricare le ultime argille; che i ghiacciai stessi si avanzarono in mare come i ghiacciai attuali delle terre polari; che i ciottoli e i massi delle morene, come avviene attualmente nelle regioni polari, sdrucciolando giù dai ghiacciai, si arrestarono sul fondo del mare, schiacciando argille già deposte, e furono ricoperti dalle ultime argille che si deposero poi, formando parte così del deposito delle argille plioceniche; che finalmente il ghiacciajo prevalse, colmò col suo detrito i seni del mare, sicchè il detrito stesso, accumulandosi per secoli, superò il pelo delle acque, e atteggiossi a morena, con tutti i caratteri delle morene alpine. Del resto quanto ho detto circa la *zona sabbiosa e ciottolosa*, che sta tra le argille pure e la pretta morena, non è da intendersi come si parlasse di una formazione distinta, ma semplicemente di una zona di passaggio, di transizione, quale può e deve originarsi dove il detrito glaciale, cadendo in mare, si mescola alle argille, si lava, riceve un principio di stratificazione, sinchè, colmo il bassofondo, la morena rimane sola ed emerge, non più disturbata dalle acque. Qui insomma la morena si radica nelle argille ed estolle al disopra delle acque il suo tronco, segnando in sè stessa, con quella zona sabbiosa e ciottolosa, un passaggio tra la schietta forma marina, e la forma schiettamente terrestre. Noterò anche che alle Fornaci di Balerna le argille, pur non cessando di costituire in massa una formazione orizzontale, sono talora ripiegate e contorte, disegnando una serie di piccole sinclinali ed anticlinali, come doveva avvenire pel peso irregolare enorme che gravitava sopra quel deposito eminentemente plastico. La figura 40 presenta uno di tali contorcimenti, che io rimarcai nel taglio fresco di un fosso scavato nel piano delle Fornaci.

Fig. 40. — Contorsioni nell'argilla pliocenica glaciale alle Fornaci di Balerna.

Sembrava che i fatti qui esposti, raccolti fin dalla primavera del 1874, dovessero bastare a far tacere ogni opposizione. Ma non si vincono così presto gli errori inveterati. Si era detta e proclamata dai geologi di maggior grido l'impossibilità delle conseguenze da me dedotte in base ai fatti più palmari, a costo di negare i fatti stessi: non bisognava cedere. Non potendosi però più negare la presenza del detrito glaciale nelle argille di Balerna, si vollero, con un taglio contro natura, recidere le argille stesse dalla grande formazione marina a cui appartengono, per ascriverle ad un lago, ad un pantano glaciale o post-glaciale, creato lì per lì per uso e consumo di qualche geologo d'oltremonti, che crede, per sbrigarsi della geologia e dei geologi d'Italia, basti una corserella in ferrovia.

strati d'argilla, ripiegati anticlinalmente. Trovo ripetuto lo stesso ragionamento dallo stesso Geikie nella sua recentissima opera sull'epoca glaciale in Scozia (*The great ice epoch*) per mostrare come certi massi, inclusi negli strati glaciali, eranvi stati portati dai ghiacci galleggianti. Se i massi di Balerna fossero caduti da ghiacci galleggianti nelle argille plioceniche, le conclusioni che noi ne caviamo non sarebbero punto nè infirmate nè mutate. Quei massi sarebbero sempre massi glaciali. Anzi si assicurerebbe meglio l'altro fatto che io sostengo, che cioè gli antichi ghiacciai alpini discendevano in mare per altrettanti fiords, come attualmente i ghiacciai delle terre artiche. Ma qui non c'è più da far questione di ghiacci galleggianti. I massi di Balerna sono così fitti e in rapporto così immediato colle sovrastanti morene, che si deve dire che ad esse già appartengono. La loro giacitura non prova altro che il fatto che essi caddero in mare dall'alto di un ghiacciajo.

Nulla importa che siansi trovati fossili marini quanti si volle al Faido presso Varese, ad Induno e a pochi metri di distanza dalle Fornaci di Balerna, sempre nelle stesse argille che formano un tutto indivisibile. Nelle indicate località i fossili non comparvero coi ciottoli striati. Non si pensava nemmeno che la presenza dei ciottoli e dei massi glaciali, formanti un vero impasto colle argille marine, accennasse appunto a tali cambiamenti locali, per cui le argille, non cessando di essere marine, desistessero però dal presentarsi fossilifere. No: se le argille contengon ciottoli striati, non sono marine. — Il punto fisso era questo, che, se volevansi marine le argille di Balerna, si dovessero trovare dei fossili marini proprio là dove si trovano nell'argilla i massi glaciali. Ma si ignorava forse la scoperta già accennata di un *Brissopsis?* Non si ignorava: ma l'autore di essa, il non mai abbastanza compianto Emilio Spreafico, era passato a miglior vita poco dopo, precisamente nel settembre del 1874; e per sfuggire alle inesorabili conseguenze della sua scoperta. non si dubitò di rilegarla tra le favole, almeno tra le cose dubbie, lasciando che all'illustre giovine scienziato, stimato principalmente per lo scrupolo e la minuziosa esattezza delle sue osservazioni, e per la ritenutezza de' suoi giudizî, ne venisse la taccia, se non di frode, per lo meno di poca esattezza e di superficialità (1). È possibile però che non si sia potuto trovar altro che quell' unico *Brossopsis?* No, no!... non dubiti il lettore, che di fossili marini se ne trovò poi quanti si volle.

Posteriormente alle scoperte enunciate fin qui, si compivano le costruzioni del tronco di ferrovia, precisamente a fianco e sull' area piana delle Fornaci di Balerna, allargata mediante lo sterro del deposito superficiale che copriva le argille, e degli strati superiori delle argille stesse. Due pozzi dovettero scavarsi, sempre in seno alle argille, per servizio della Stazione di Balerna e del vicino casello da guardiano, edificati sull'area stessa.

Quando rividi quella località coi Sig. Desor, Rosales, Taramelli e Mercalli il primo giorno di giugno 1876, udimmo che si erano estratte delle conchiglie fossili da quei pozzi, nominatamente dal pozzo del vicino casello, profondo 19 m. Quelle conchiglie si asserivano lacustri, ed erano state spedite al Sig. Rütimeyer. Non potei allora far altro che osservare il rigetto di quel pozzo, e verificare che non differiva punto dalle argille a ciottoli striati delle Fornaci. Rimasi da prima alquanto sorpreso, e andava già meco ruminando come mai ad un deposito il quale, benchè zeppo di ciottoli glaciali, era certamente marino, potessero mescolarsi lì per lì senza nessuna ragione stratigrafica, senza alcun cambiamento di

(1) Che il Sig. Spreafico abbia trovato il *Brissopsis* alla superficie delle argille delle Fornaci impastate di ciottoli striati è un fatto così certo, che l'averlo rivocato in dubbio è già un forte indizio di quanto l'opinione degli avversarî sia pregiudicata. Menando io quasi vita comune col mio defunto amico, gli è come quell'echino l'avessi raccolto io stesso.

Quanto alla precisa località, dirò questo, che, andato io la prima volta alle Fornaci di Balerna per verificare i fatti di cui si è discorso, mentre io era tutto inteso ad osservare i ciottoli striati nelle argille e a studiare i rapporti di posizione, di profondità, lo Spreafico, che mi ci aveva condotto, non fece altro che cercare, col viso a terra, precisamente su quell' area dove sorgono le Fornaci, se mai gli venisse fatto di trovare un altro *Brissopsis*, o un altro fossile marino qualunque, uscendo di tratto in tratto, in esclamazioni sulla infruttuosità delle sue ricerche.

Il *Brissopsis*, unito ad un ciottolo striato, fu più tardi mostrato dallo Spreafico, in mia presenza, ai Sig. Desor e Schimper, e mi ricordo di quanto ne furono sorpresi dapprima e convinti dappoi. Il Sig. Desor attesta che l' echino e il ciottolo striato erano nello stesso pezzo di argilla. Io non potrei giurarlo, mentre, dopo aver visto l'argilla del *Brissopsis* impastata in luogo di milioni di ciottoli e di massi glaciali, non doveva annettere nessuna importanza al fatto che il *Brissopsis* e il ciottolo striato fossero uniti materialmente nello stesso pezzo d' argilla; tanto più che era così lontano allora dal pensare alla possibilità di una opposizione così assurda e cocciuta. Durante la lunga malattia che portò al sepolcro lo Spreafico, e il mio viaggio in Oriente nel 1874, che mi rese invalido per più mesi anche dopo il ritorno, in assenza quindi dei due che avevano in mano le collezioni lombarde, queste furono tutte spostate, per bisogno di certe riparazioni al Museo Civico di Milano; nè sono ancora riordinate. Si trovò tuttavia un *Brissopsis* nell'istessa cassettina con un bel ciottolo striato, entrambi involti nell'argilla, ma non uniti nello stesso pezzo. Perdoni il lettore se lo intrattengo di tali minuzie, trasportandolo nel campo di una ingrata polemica, che ripugna alla natura di questa opera. Ma questa cresce, per dir così, trattandosi di cose nuove, in mezzo ad un campo di battaglia. È impossibile che non ne risenta.

natura litologica, degli strati lacustri. Ma riavendomi ben tosto, e pensando che non può esistere un fatto contradditorio ad un fatto certo e dimostrato, dissi risolutamente ai compagni: « È impossibile che quei fossili siano lacustri ». I nominati colleghi possono renderne testimonianza. Se da quel pozzo eransi estratte delle conchiglie, dovevano essere marine ad ogni patto. Trattavasi infatti di un semplice equivoco preso, per imperizia in materia, dalla persona che avea raccolto ed inviato quei fossili al Sig. Rütimeyer. Questi non ricevette per l'appunto che conchiglie marine, e marine erano quelle scavate dallo stesso pozzo, che ricevetti qualche giorno dopo io stesso dalla gentilezza del Sig. ingegnere B. Gabuzzi. Quelle da me ricevute e che conservo appartengono tutte alla stessa specie, cioè al *Pecten De Filippi*, Stopp., specie (si noti bene) eminentemente caratteristica delle argille della Folla d'Induno e di Pontegana. Si tentò ancora di fare delle eccezioni, di rendere dubbio ciò che era evidente. Quelle conchiglie si dicevano trovate alla profondità di 15 m.: il pozzo poteva dunque aver incontrato le argille plioceniche, sottoposte alle argille a ciottoli striati delle Fornaci, che si volevano sostenere come semplicemente glaciali o lacustro-glaciali. Ma si badi che gli scavi praticati nelle argille in servizio delle Fornaci si sprofondavano giù fino a metri 12,90 (1), e che noi vi trovammo sempre dei ciottoli striati, più spessi negli strati superficiali, più radi sul fondo, ma sempre ugualmente associati originariamente alle argille. Si vorrebbe dunque che, senza che il deposito cambi natura, senza nessuna diversità di stratificazione, in un deposito argilloso che si estende tutto d'un pezzo quasi dal lago Maggiore a quello di Como, bastino m. 2,30 di profondità, perchè il deposito diventi di tutt'altra epoca, di tutt'altra origine, e questo per la sola ragione che non piace al Sig. Rütimeyer che i nostri antichi ghiacciai abbiano trovato il mare ancora disteso al piede delle Prealpi? Libero a chi vuole di sottrarsi anche all'impero dei fatti. Questi ci impongono di credere che le argille di Balerna sono marine e glaciali ad un tempo. Marine, perchè sparse ovunque di reliquie di animali marini (2); glaciali, perchè formate quando i ghiacciai alpini erano già usciti dalle valli alpine per tuffarsi in mare, e perchè impastate, fino alla profondità di 12 m. e più, di ciottoli e massi striati, e d'ogni sorta di detrito glaciale. Abbiamo trovato i fossili marini a lato delle argille di Balerna (Faido, Folla d'Induno, ecc.); alla loro superficie (*Brissopsis* di Spreafico); sotto di esse alla profondità di 15 m. (pozzo del casello); alla profondità di m. 16,70 (livello della Breggia sotto Pontegana, appena al di là della ferrovia). L'abbondanza delle conchiglie marine negli strati inferiori delle argille scarse o prive di ciottoli striati, e la loro scarsezza negli strati superiori zeppi di detrito glaciale, non ci dice altro che questo: le mutate condizioni del golfo marino di Balerna, per la sopravvenienza del ghiacciajo e del relativo detrito, aver reso mano mano più sfavorevole dapprima, poi impossibile la dimora agli animali marini, che prima vi trovavano stanza opportuna.

(1) Ecco il quadro delle profondità relative a cui si riferiscono le presenti osservazioni:

Bocca del pozzo del casello accanto alle Fornaci (m. 282,70 sul livello del mare)	metri	0,00
Piano delle guide della ferrovia	»	1,70
Scavo nelle argille a ciottoli striati con *Brissopsis* alle Fornaci.	»	12,70
Profondità dei *Pecten De Filippi* scoperti nel pozzo	»	15,00
Strati fossiliferi sotto Pontegana	»	16,70
Fondo del pozzo	»	19,80

(2) Ho dimenticato di accennare che i lavoratori alle Fornaci di Balerna mi avevano assicurato di aver raccolto fossili marini in più luoghi all'ingiro: che il prof. Taramelli ebbe a vederne sparso il rigetto di una cava d'argilla presso le Fornaci. Il professore Pietro Pavesi mi diceva poi appena l'altro dì che, essendo insegnante a Lugano, usava spesso in quella località delle Fornaci, e assai prima che nascessero tutti questi vergognosi battibecchi, di conchiglie marine ne aveva raccolto in quei posti. Mi accennava principalmente un pozzo scavato per l'estrazione delle argille sopra una piccola eminenza a fianco dell'area delle Fornaci dal lato di ponente, da cui venivano estratti in gran numero i *Pecten De Filippi*, turritelle, natiche ed echinidi. Non pare che il pozzo fosse nemmeno abbastanza profondo per raggiungere il piano delle Fornaci.

Ma i fatti di Balerna non dovevano rimanere isolati. Altri, se era possibile, più concludenti, dovevano aggiungersi, forniti, non già da un deposito che potevasi dire ancora propriamente marino, ma da quello che si deve chiamare propriamente glaciale, benchè in stretti rapporti col mare, cioè dalle stesse morene componenti l'anfiteatro glaciale del ramo occidentale del lago di Como.

2. Carattere littorale marino della morena presso Cassina Rizzardi.

Richiami il lettore quanto fu esposto circa lo sviluppo dell'antico ghiacciajo dell'Adda e del lago di Como, e principalmente la descrizione della porzione regolarissima dell' anfiteatro marino, composto di tre grandi archi concentrici, che corrisponde allo sbocco dell'antico ghiacciajo pel ramo occidentale del lago suddetto (1). Più di tutto si ponga sott'occhio la *Tavola* XIII (2), che presenta appunto l'anfiteatro suddetto, visto dal M. Goi. È questo il campo entro il quale si aggirano le recenti scoperte, a cui è consacrato il paragrafo presente. Veda il lettore se siamo sì o no entro i dominî di un antico ghiacciajo. Eppure noi siamo al tempo stesso entro i dominî dell'antico mare, che frangeva le sue onde contro la scogliera di M. Olimpino, la quale, a modo di penisola, separava il libero mare dal golfo di Balerna. Le morene stesse, le cui fondamenta furono gettate sul fondo del mare, rigurgitavano ovunque di marine conchiglie.

Sulla fine dell'inverno 1874 il Sig. dott. Casella di Como mi inviava un bel numero di conchiglie marine, evidentemente plioceniche, scrivendomi che erano state raccolte in una cava di ghiaja nelle vicinanze di Fino. Come poteva essere ciò, se Fino e i suoi dintorni si trovano proprio nel cuore dell'anfiteatro morenico, e non vi ha che terreno glaciale? (3) Eppure la cosa avrebbe dovuto sembrarmi naturalissima. Dopo i fatti discussi nel mio *Corso di geologia*, e le scoperte di Balerna, l'anfiteatro morenico di Como non poteva aver altra base che il fondo del mare pliocenico, e il primo impianto delle morene non poteva essere che sottomarino, per divenire littorale ed intercontinentale dappoi. Verso la metà del maggio, dopo che i signori marchese Rosales e Franceschini avevano verificata la giacitura di quei fossili, mi recai io stesso a visitare la località ora divenuta celebre sotto il nome di Cassina Rizzardi, paese in vicinanza di Fino, posto sulla stessa morena frontale, come mostra la *Tavola* XIII. La cava di ghiaja con conchiglie marine si trova circa a mezza via tra i due paesi, verso e dentro la base stessa della morena. La *Tavola* XX presenta un disegno di quella cava, preso sul posto dal marchese Rosales. Alla base l'altipiano intermorenico, terrazzato dal torrente Livescia, che scorre al piede della collina morenica la quale sorge sullo sfondo, sormontata dal paese di Fino. A destra del quadro il prolungamento della stessa morena, dove è aperta la cava, da cui si estrassero i fossili, e il resto che diremo. Ecco ora il risultato delle mie osservazioni, quali furono per la prima volta pubblicate nella mia memoria *Il mare glaciale a' piedi delle Alpi*.

Sulla via che dalla stazione di Cucciago conduceva alla collina non trovai altro naturalmente che morene, massi erratici d'origine alpina, insomma il solito terreno glaciale, caratterizzato quanto può esserlo. Arrivammo al piede della morena. Il marchese Rosales ci aveva già praticato alcuni scavi, e disposti degli operai che li continuassero in mia presenza. Sotto i colpi degli zapponi un'ampia breccia è aperta in seno alla collina, e la mostra composta non d'altro che di sabbie, di ghiaje, di ciottoli, di massi. I ciottoli sono stupendamente striati: la struttura dell'ammasso è assolutamente caotica; insomma, se giova ripeterlo ancora, quella collina è una morena. Notai soltanto che alla base quel cumulo di detrito glaciale

(1) Vedi § 4 del Capitolo V, pag. 75-85, e specialmente, per la descrizione dell'anfiteatro in discorso, la pag. 83.

(2) A pagina 83 è citata, per errore, come fosse la *Tavola* IX.

(3) Vedi la *Tavola* XIII, dove il paese di Fino torreggia sulla sommità della seconda morena frontale.

presentava un'incoerenza straordinaria, mancandogli quella parte puramente fangosa che serve di cemento, e vale a dare qualche consistenza alle morene ordinarie. La parte più minuta era rappresentata da una specie di finissima ghiaja, sicchè si sarebbe detto che quella morena avesse sofferto una lavatura, appena sufficiente a levarne la parte fangosa, lasciandone intatta la parte più grossolana. Non tardò un minuto che io osservai la parte più sabbiosa sparsa di un certo tritume bianco, che non poteva ritenersi altro che un tritume di conchiglie. In breve ogni dubbio era tolto, ed era una meraviglia il vedere come tra le ghiaje che franavano, tra i ciottoli striati che rotolavano al basso, si svolgessero, come create lì per lì per incanto, vaghissime conchiglie marine d'ogni stampo, tinte ancora dei nativi colori, ancora luccicanti della nativa madreperla.

Confesso che rimasi sorpreso al vedere accanto gli uni alle altre, insieme confusi, i ciottoli striati, venuti dalle somme vette delle Alpi sul dorso de' ghiacciai, e le conchiglie rigettate dalle onde del mare. Eppure che motivo aveva io di meravigliarmene? Infine non trovava altro in questo posto che una ripetizione di ciò che era già assicurato a Balerna, con questa differenza che lo sbocco dei ghiacciai in seno al mare aveva dovuto stabilirsi a Balerna con studî pazienti, con avvicinamenti di fatti disparati, raccolti in parecchi anni; qui invece la verità ci si presentava senza alcun velo, e veniva a colpirci, quasi ad atterrirci, colla sua stessa evidenza. Nei dintorni di Balerna si trovarono fossili pliocenici in diverse località: ma un solo Echino era stato raccolto proprio sul piano delle Fornaci, dove era più evidente la mistura del terreno glaciale colle argille marine. Qui invece le conchiglie marine, mescolate ad un pretto detrito glaciale, si raccolgono a centinaja, a migliaja (1). Là si poteva dubitare almeno per un istante che i ciottoli glaciali si fossero sprofondati nelle argille marine in un' epoca posteriore qualunque: qui è la morena stessa che contiene le conchiglie marine, che è divenuta, in certo senso, deposito marino. I ciottoli striati o di forme glaciali d'ogni stampo e i massi erratici sparsi dovunque all'ingiro, creano qui la formazione marina, contenente le conchiglie marine. Del resto, per rimbalzo, la certezza che qui si tratta di un detrito morenico deposto dal ghiacciajo alpino in seno al mare, toglie ogni dubbio circa l'interpretazione dei fatti che si verificano nei dintorni di Balerna. È sempre lo stesso mare che occupava il posto dell'anfiteatro morenico del ghiacciajo di Como, e s'insinuava al tempo stesso nel golfo di Balerna. L'unica differenza sta in ciò, che il bacino di Balerna presentava all'antico ghiacciajo un basso fondo argilloso, dove cadevano i ciottoli glaciali, rimanendo sepolti nelle argille; mentre i dintorni di Cucciago erano un lido, proprio una spiaggia, sulla quale erano trastullo delle onde le conchiglie scopate dal fondo marino del pari che i ciottoli sdrucciolanti dal ghiacciajo.

Appena dopo quelle scoperte il Congresso botanico di Firenze porse occasione di venire a Milano a due sommità scientifiche, cioè al sig. Desor di Neuchâtel e al sig. Schimper di Strasburgo.

Non potevano capitarmi in un momento più opportuno persone più adatte per discutere ed apprezzare le scoperte che eransi fatte allora allora nell'Alta Lombardia. Non creda però il lettore che i due illustri geologi volessero ritenere ineccepibili, quanto all'esattezza delle osservazioni, i fatti come io li esponeva, e molto meno che volessero ammettere lì per lì senza discussione le conclusioni che io ne voleva cavare. Dopo quanto s' è scritto, dopo quanto avevano veduto essi medesimi, non era così facile di persuadersi che nell'epoca glaciale (un'epoca che in geologia si direbbe jeri) il mare flagellasse ancora il piè delle Alpi: che i ghiacciai italiani sboccassero in mare, come gli antichi ghiacciai della Scozia e della Scandinavia, e come i ghiacciai attuali della Groenlandia e dello Spitzberg. I due scienziati si raccomandarono a tutte le spiegazioni possibili dei fatti narrati, prima di ammet-

(1) Dicendo che un solo Echino (il *Brissopsis* dello Spreafico) venne trovato proprio sul piano delle Fornaci di Balerna, non s'intende di menomare per nulla quella quantità di fossili marini che venne realmente raccolta in più luoghi nelle stesse argille delle Fornaci, come si è detto a pag. 141, ed è riportato nel libretto *Il Monte generoso* (Lugano, 1869, pag. 37) di L. Lavizzari

tere quella che era più semplice, ma che portava una specie di rivoluzione nelle idee fin allora accettate universalmente. Ma, portatisi in luogo, poterono cavarsi la voglia di vedere e toccare ciò che duravano fatica a credere, e di raccogliere colle loro stesse mani conchiglie marine e ciottoli striati quanti ne vollero. Anzi notarono un fatto che io non aveva dapprima notato, che cioè i ciottoli striati erano misti, non solo alle conchiglie marine, come si è detto, non solo a sabbia lavata, come io aveva osservato, ma a veri *galets*, ossia ai ciottoli discoidali, così caratteristici nei littorali marini. Le loro impressioni sono espresse in una lettera, che il sig. Desor ebbe la bontà di scrivermi, appena ripatriato, e fu da me pubblicata per intero nella citata memoria *Il mare glaciale a' piedi delle Alpi.* Basterà citarne il seguente brano.

« L'ami Schimper », scrivevami il Desor sotto la data dell'8 luglio 1874, « ne pouvait en croire à ses yeux, quand il voyait apparaître sous la pioche des ouvriers, que M. le Marquis Rosales avait eu l'obligeance d'installer, toute une faune de coquilles marines, mélangées pêle mêle avec des débris morainiques, au nombre desquels se trouvaient des cailloux striés incontestables. Sa première impression était que ces coquilles avaient dû être arrachées par le glacier de quelque gisement tertiaire situé en amont du côté Nord. Mais il n'a pas tardé à se convaincre qu'il n'en était rien, et que les coquilles se trouvaient *in situ.* A partir de ce moment il a cherché à concilier la présence des glaciers avec cette faune et cette flore (celle de la Folla d'Induno) qui indique un climat plutôt plus chaud que plus froid. Il est, come vous, d'avis que la période glaciaire n'est pas une période *glaciale.* »

Quanto allo Schimper (il celebre botanico e geologo di Strasburgo) mi scriveva, sotto la data del 6 aprile 1875, così: « Vous avez eu la bienveillance de m'envoyer votre importante exposition sur la mer glaciaire de la Lombardie, que j'ai lue avec le plus vif intérêt. La constatation de cette mer *dont l'existence ne saurait plus offrir le moindre doute,* est certainement une des découvertes les plus curieuses de l'époque. »

Le scoperte fatte a Cassina Rizzardi (vedremo quante altre tennero loro dietro) che insorgevano contro pregiudizî universali e inveterati con una evidenza ancora maggiore che i fatti di Balerna, dovevano naturalmente suscitare più viva e più pertinace opposizione. Poco curandomi di ciò che fu detto e scritto da naturalisti stranieri, i quali vogliono sentenziare delle cose nostre stando al di là delle Alpi, o pretendono, con una corsa a vapore, di aver fatta la geologia d'un'intera regione, meglio di chi ci è nato e vi ha speso a studiarla una trentina d'anni, mi fermerò principalmente a due memorie del Sig. Sordelli (1) nelle quali sono condensate anche le obiezioni fatte dagli altri e che hanno almeno due meriti, l'uno vero e legittimo di uno studio accuratissimo della nostra fauna glaciale; l'altro abbastanza equivoco, di presentare, con una sottigliezza degna di miglior causa, tutte le minuzie, tutti i cavilli che potessero armarsi contro la mia tesi, passando sopra con meravigliosa noncuranza, alle vere ragioni e specialmente al complesso dei fatti da me raccolti ed esposti successivamente in trent'anni, che rendono la tesi stessa così evidente (2). Protesto d'esser stato fermo per lungo tempo nell'idea di passar sopra anch'io alle opposizioni degli avversarî, che mi sembravano suggerite unicamente dall'ignoranza dei fatti e da pertinacia di pregiudizî, spiacendomi troppo di essere trascinato in una ingrata polemica con scienziati stimabilissimi, e specialmente col collega Sordelli a cui professo sinceramente la maggior stima come a zoologo botanico e paleontologo distinto. Ma difendersi dagli as-

(1) Sordelli, *La fauna marina di Cassina Rizzardi (Atti della Società italiana di scienze naturali,* Vol. XVIII, 1875). — *Nuove osservazioni sulla fauna di Cassina Rizzardi* (Ib. 1876).

(2) Si allude non soltanto alle recenti scoperte nei dintorni di Como, ma anche agli studî da me fatti sugli equivalenti del terreno glaciale nei dintorni di Lecco, del lago d'Iseo, nel bacino di Leffe, di Utznach, della Val d'Arno, delle alluvioni del Po, ecc. (*Corso di geologia*, Vol. II, C. XXIX), da cui risultano quelle stesse deduzioni che i fatti di Balerna, di Cassina Rizzardi, e i molti che riporteremo più innanzi, resero poi così evidenti.

salti è, non solo diritto, ma dovere, quando si tratta della verità: confutare le objezioni, non è mancare di stima e di riguardo alle persone: poi la lotta è il principale fattore d'ogni progresso fisico, intellettuale e morale. In questo caso poi si tratta della questione più fondamentale per la *geologia continentale* dell'Italia, e la risposta alle objezioni non avrà, spero, altro esito, che quello di mettere in miglior luce la verità, facendola osservare ne' diversi suoi lati, e sotto i diversi rapporti che la renderanno ai lettori più chiara e convincente. È bene che il lettore sappia che una tesi, già da molti anni da me emessa e difesa, ma a cui si dà ampio e definitivo sviluppo per la prima volta in quest'opera, e da cui emanano tanti corollarî nuovi e in opposizione a tante idee inveterate, è ancora avversata dalla massima parte dei geologi italiani e stranieri, e veda fino al fondo, con quali argomenti si è cercato di togliere ogni valore ai nuovi fatti che hanno finito col farne una cosa di prima evidenza, e si è riuscito, come si suol dire, ad imporre ad uomini, i quali sono tutt'altro che stranieri alla geologia.

3. Risposta alle objezioni relative alla scoperta del terreno glaciale morenico presso Cassina Rizzardi.

Il Sig. Sordelli comincia col negare che il terreno scavato presso Cassina Rizzardi, nel cuore dell'anfiteatro morenico, nel seno stesso della morena, appartenga ad una morena. Anzi tutte le sue osservazioni sono dirette unicamente ad abbattere ad ogni costo questo fatto fondamentale, che il deposito a conchiglie marine di quella celebre località non è altro, proprio null'altro che *morena*, coll'aggiunta soltanto di *morena marina littorale*. Egli concede però, anzi sostiene che « Il territorio in cui sono le tre località fossilifere (1) non è *evidentemente* se non un piccolo tratto della vasta estensione di paese che in altri tempi fu invasa dal ghiacciajo, sceso dalle Alpi, lungo la valle oggidì occupata dal lago di Como. Avanzi (2) di schiette morene sono sparsi qua e là per tale territorio e danno al medesimo una particolare fisonomia, quella appunto che Desor vorrebbe chiamare *paesaggio morenico* » (3). Concede anche che « Il borgo di Fino è esso pure addossato ad una *collina morenica* » (4). Come mai dunque non può essere morenico un terreno che forma la base della stessa collina, o almeno dello stesso sistema di colline moreniche di Fino e dintorni? (5).

Prima ragione che il Sordelli adduce per negarlo è questa, che il terreno non è, come io dissi, assolutamente *caotico*, non ha insomma il primo carattere delle morene: anzi è *stratificato*. Non lo è certo, come ve ne avverte, seriamente, quanto i calcari del lias a Moltrasio; ma, via, una certa stratificazione la c'è. Vi trova delle sabbie come quelle del Ticino, ed anche il terriccio (notate che siamo sul margine di un terreno coltivato) diventa un piano geologico. Che cosa sono venuti a fare Desor e Schimper e tanti geologi giovani o incanutiti nello studio degli strati, se non si sono accorti di trovarsi davanti un terreno stratificato? Però bisogna concedere ch'io ebbi un po' torto quando dissi che *la struttura dell'ammasso è assolutamente caotica*, quasi si trattasse di una morena prettamente terrestre, e l'avrei avuto del tutto se non avessi notato « che alla base quel cu-

(1) Le tre località fossilifere sono questa di Cassina Rizzardi e quelle di Ronco e Bulgaro Grasso osservate posteriormente. Avrei potuto più facilmente distruggere le objezioni del Sig. Sordelli usando anche dei fatti raccolti in queste due località e in altre scoperte più tardi, di cui discorreremo. Ma volli restringermi dapprima alla sola località di Cassina Rizzardi, perchè fu quella presa di mira quasi unicamente dagli avversarî, e perchè veda il lettore come le loro objezioni, anche senza uscire dal campo limitatissimo di quella cava di ghiaja a cui si arrestarono le loro osservazioni, siano insussistenti.

(2) Altro che *avanzi!* Si abbia la bontà di osservare un'altra volta la *Tavola* XIII.

(3) Sordelli, *Nuove osservazioni*, pag. 6.

(4) Ib. pag. 7. — Vedremo più innanzi che precisamente a Fino, *addossato*, come dice quì il Sordelli *ad una collina morenica*, si trovarono, per testimonianza di persona degna di fede, fossili marini.

(5) Vedi la *Tavola* XX.

mulo di detrito glaciale presentava un'incoerenza straordinaria, mancandogli quella parte puramente fangosa, che serve di cemento, e vale a dare qualche consistenza alle morene ordinarie, e che la parte più minuta era rappresentata da una specie di finissima ghiaja, *sicchè si sarebbe detto che quella morena avesse subìto una lavatura* (1). È meraviglioso infatti che quella parte di morena, battuta e rimestata dal mare, zeppa di conchiglie marine, abbia potuto conservar tanto della struttura caotica, mentre altrove in cento località, la porzione basilare dell'anfiteatro di Como e di quello del Lago Maggiore, della Dora Baltea ecc. è veramente, benchè assai irregolarmente, stratificata. Ma questo è appunto il primo carattere per distinguere le morene terrestri dalle marine, quelle depositate dai ghiacciai sul suolo asciutto, e quelle che essi eressero e vanno erigendo, per es. nei fiords della Groenlandia, sul fondo o sulle rive del mare (2). S'è detto forse mai altro che questo, il deposito di Cassina Rizzardi appartenere ad una morena fabbricata in riva al mare, battuta e rimestata dal mare, quando questo ancora flagellava il piede delle Prealpi da cui era appunto mano mano respinto dai ghiacciai e dalle morene che lo andavano colmando?

Per quanto (supponiamo dietro ulteriori scavi) quella morena mostrasse ancor meno equivoche le sembianze della stratificazione, per quanto si andasse avvicinando alle morene stratificatissime del Lago Maggiore e della Dora Baltea, a nessuno che sia un po' intelligente di geologia e conosca i primi rudimenti dell'idraulica fluviale, verrà mai in mente di pigliarla per un deposito alluvionale. Come può mai il signor Sordelli ritenere per un deposito alluvionale un terreno formato di detriti d'ogni dimensione e figura, dal granello di sabbia al masso erratico (3), contenente ciottoli arrotondati e ciottoli angolosi, ciottoli striati e ciottoli discoidali di forma prettamente marina, e ciottoli perforati da litofagi marini, sparso di infinito numero di conchiglie marine? Centinaja di torrenti e di fiumi scendono dalle Alpi alla pianura, attraversando la regione morenica dell'alta Italia, fabbricando, col detrito delle morene di continuo rose e sfasciate, i loro delta lacustri, i loro strati alluvionali. Sfido a trovare nel letto di quei torrenti e di quei fiumi un solo ciottolo striato. Centinaja di torrenti e di fiumi scendono dagli Apennini, attraversando la zona delle argille e delle sabbie rigurgitanti di conchiglie marine. Sfido a trovare nel letto ciottoloso di uno di quei torrenti, di quei fiumi (salvo che nei torrentelli che scorrono incanalati immediatamente nelle argille e nelle sabbie fossilifere) una sola conchiglia, od anche un solo frammento di conchiglia (4). Sfido finalmente a trovare in qualunque alluvione, an-

(1) STOPPANI, *Il mare glaciale a' piedi delle Alpi*, pag. 30.

(2) Questo della stratificazione delle morene è un argomento che meriterebbe di venir studiato, mentre nol fu, credo, da nessuno finora. La stratificazione dev'essere uno dei caratteri più sicuri per distinguere le morene marine dalle terrestri. È un fatto intanto che in tanti luoghi, sopra vaste estensioni, negli anfiteatri morenici di Lecco, di Como, del Lago Maggiore, d'Ivrea, le morene meglio caratterizzate per la struttura in complesso caotica, per l'abbondanza dei ciottoli striati, per la congerie dei massi erratici più voluminosi, per la forma, per la disposizione, sono stratificate, e presentano talvolta molto decisi tutti gli accidenti della stratificazione, cioè *inclinazioni anticlinali e sinclinali.* Ne riporterò più sotto un bell'esempio descritto e disegnato dall'ingegnere Gentilli, or fanno già dodici anni, a cui nessuno ha badato. Si può intanto osservare la *Tavola* XXI che presenta la sezione di una porzione basilare della morena al ponte di Lecco, già descritta a pag. 50, la quale come è sparsa di massi voluminosissimi in numero infinito, così mi ha sempre servito, per ragione di comodità, di miniera di ciottoli striati.

(3) Massi assai grossi osservai in quei pochi metri di cava a C. Rizzardi: veri massi erratici sporgono ovunque dal suolo circostante, e si osservano nelle altre cave vicine a conchiglie marine.

(4) La Burra-grande, che si scarica nella Chiusella (confluente della Dora Baltea) in faccia a Quagliuzzo, è un burrone, qualche centinajo di metri lungo, inciso profondamente entro le sabbie marine glaciali alla base dell'anfiteatro morenico. Diremo più tardi i particolari di quelle sabbie, ricche del pari di conchiglie marine, che di ciottoli striati. Ora vogliamo notare che il letto di quei torrentelli, quasi sempre asciutti, dove franano immediatamente le suddette sabbie, è sparso di frantumi di conchiglie, appartenenti a specie molto robuste, e di ciottoli ancora striati. Ebbene sfido a trovare, non dirò nel letto della Baltea, ma in quello della Chiusella, dove la Burra-grande si versa a qualche centinajo di metri dalle sabbie descritte, un solo frammento di conchiglia, od un ciottolo striato. A Cassina Rizzardi si trovano questi e quelle a migliaja, smovendo un solo metro cubico di morena.

Un qualche cosa di simile alla Burra-grande dev'essere certamente il torrente Rimore nel Par-

tica o moderna, in tutte le parti e di tutte le epoche del globo, un ciottolo striato, od una conchiglia marina sciolta e libera entro il deposito, in guisa cioè che non appartenga come fossile ad alcuno dei ciottoli stessi che compongono l'alluvione. Sì, un deposito torrenziale, divenuto miniera di ciottoli striati e di testacei marini, tanto che il signor Sordelli ne ha già determinate 156 (!) specie (1), è un caso *unico* nella storia della geologia delle cinque parti del mondo e lo sarà finchè il mondo dura. Lo sarebbe già se ne contenesse dieci, anzi una o due soltanto. Così è un caso che farebbe perder la testa a qualunque geologo se casi somiglianti non fossero, per sventura, tutt'altro che unici nella storia delle umane aberrazioni. Qui potremmo far punto: ma siccome il signor Sordelli non ha potuto salvarsi dal sentire le difficoltà (noi diremo l'assurdo) a cui la composizione del deposito esponeva la sua tesi, ed ha cercato di ovviarle ragionando a suo modo su questi stessi elementi che e da soli e nel loro complesso sono la negazione dei depositi alluvionali; così lo seguiremo ne' suoi faticosi contorcimenti.

I ciottoli striati nel deposito di Cassina Rizzardi il Sordelli non li nega. Altri li negarono addirittura, per non dir peggio, con un coraggio meraviglioso. Io ho cercato altrove di scusarli, adducendo le ragioni che rendono qui, più che altrove (nel caso che si osservi troppo superficialmente) difficile lo scoprirli (2). La sco-

migiano, citato dal Sordelli come quello dove si trovano, secondo il prof. Cocconi, fossili abbastanza ben conservati fra le sabbie e i ciottoli silicei. Il Rimore è anch'esso scavato immediatamente in seno alle colline terziarie. Ma si provi, ripeto, il signor Sordelli a trovare, non dirò 156 specie di testacei ben determinabili, come a Cassina Rizzardi, ma una sola nell'Enza, nella Parma, nel Taro, o in altro fiume o torrente appena considerevole del Parmigiano e del Modenese, dove tutti i fiumi, tutti i torrenti sono costretti ad attraversare quanto è larga e profonda la zona delle sabbie e delle argille, ovunque rigurgitanti di conchiglie marine.

(1) Sono comprese in questa cifra alcune specie delle cave vicine di Ronco e Bulgaro Grasso, appartenenti allo stesso giacimento.

(2) Ecco ciò che scrissi in proposito nella mia Memoria *Sui rapporti del terreno glaciale col pliocenico nei dintorni di Como* (pag. 4 e 5), e dissi esponendo all'adunanza 25 aprile 1875 della Società Italiana di scienze naturali i risultati di una gita a Cassina Rizzardi, in compagnia dei signori Rosales, Franceschini, Delfinoni e Sordelli. Quest'ultimo era pure presente alla citata adunanza, e non fece objezioni. Diceva dunque così: « Non dovevasi mancare naturalmente di osservare e di raccogliere di nuovo, in mezzo alle conchiglie marine, i ciottoli striati. Osservo in proposito che la loro presenza potrebbe facilmente sfuggire a chi fosse meno avvezzo a colpire a prima vista i caratteri dei ciottoli glaciali, o a chi non fosse disposto ad impiegarvi quel tanto di pazienza che si richiede per discernervi le striature. I caratteri glaciali dei ciottoli di Cassina Rizzardi, come sono l'irregolarità delle forme, le spezzature, le ammaccature, il liscio caratteristico, balzano all'occhio immediatamente, come immediatamente si rimarcano la struttura caotica e gli altri caratteri della morena, che qui è appena leggermente modificata dall'azione del mare dove si veniva formando. Quanto alle striature, bisogna cercarle più pazientemente per due ragioni. La prima è questa, che in seno alle nostre morene, quando siano sottoposte a rocce calcaree, o ricche di ciottoli calcarei, e qui principalmente dove abbonda il tritume di conchiglie marine, si trova facilmente generato, per azione delle acque pregne di gas acido carbonico, il carbonato di calce incrostante, che spesso cementa le morene poco profonde, o per lo meno riveste i ciottoli quasi di una vernice alabastrina, la quale maschera interamente le striature. Sono così comunemente inverniciati i ciottoli di Cassina Rizzardi ».

« La seconda ragione per cui i ciottoli striati non si svelano così presto come nelle morene ordinarie, sta nelle condizioni speciali di questa di Cassina Rizzardi. Trattasi di un deposito, morenico sì, ma misto a conchiglie marine, e che dovette subire più o meno l'azione erosiva del mare. Ai ciottoli glaciali, come è riferito alla pag. 33 della mia Memoria citata (*Il mare glaciale a' piedi dell'Alpi*) i signori Desor, Schimper e Spreafico trovarono confusi dei veri *galets*, cioè dei ciottoli discoidali così caratteristici delle formazioni marine. Io pure li ho osservati, coi colleghi summentovati, nella mia ultima gita. Osservammo anche l'altro fatto interessantissimo, che molti ciottoli, dalle forme glaciali, sono traforati dalle foladi in numero infinito, e vi si scopersero anche molte conchiglie di questi litofagi ancora annidate nelle rispettive gallerie. Quei ciottoli dovettero dunque rimanere scoperti sul fondo marino per mesi e forse per anni. È un fatto di più per dimostrare che noi ci troviamo precisamente sul lido del mare pliocenico, sulla linea di confine tra esso e il ghiacciajo, sicchè il ghiacciajo stesso colle sue morene faceva sponda al mare. In tali condizioni pare impossibile che si trovino, misti ai ciottoli così erosi e traforati, altri che conservano le delicatissime striature che vi incise il ghiacciajo. Eppure è così, e bisogna dire che il tritume glaciale franasse in tanta abbondanza in seno alle onde che coprivano il lido, che gli uni servissero di schermo agli altri, rimanendo questi ricoperti da quelli, perciò salvi tanto dalla furia del mare, quanto dalla edacità dei litofagi ».

Ora però mi vien voglia di aggiungere una terza ragione, ed è che taluni siano andati a cercare a Cassina Rizzardi e altrove i ciottoli striati, senza averne mai veduto nessuno. Chi volesse osser-

perta dei ciottoli non deve però essere tanto difficile, se tosto si avvidero della loro presenza i signori Desor, Schimper, Taramelli, Spreafico, Rosales, Franceschini, Mercalli e lo stesso Sordelli, in compagnia del quale visitai il deposito di Cassina Rizzardi il giorno 15 aprile 1875. Egli però osserva (nella sua *Memoria,* ma non allora quando eravamo insieme a raccoglierli) che i ciottoli striati sono *rari* (1). Era meglio dire che non sono così comuni come nelle morene ordinarie. Dice di più che *mancano in essi le strie più fine* e delicate, e quella *lisciatura lucente che caratterizzano i ciottoli striati delle morene* (2). Anche questo è vero per la maggior parte dei casi, purchè non spinga la cosa fino a sembrare di contraddirsi quando aggiunge subito dopo che la vicinanza delle morene spiega perchè *alcuni* conservino *talora qualche traccia delle strie più grossolane* (3). Non ha detto testè che mancano soltanto *le strie più fine e delicate?* Ma non mancano nemmen queste, mentre io posso mostrare dei ciottoli sui quali nemmeno le striature più fine sono obliterate. Ma a che approdano tutte queste minute osservazioni? I ciottoli striati ci sono, e abbondanti, e bellissimi, e staranno sempre ad attestare ai più increduli che il deposito è glaciale. L'essere più rari e meno freschi che nelle morene ordinarie, è un altro carattere di morena esposta all'azione del mare, la quale se riduceva molti di quei ciottoli in piastrelle discoidali *(galets),* altri guastava più o meno profondamente, e tutti li avrebbe guasti ugualmente, se non ne fosse stata impedita dal rapido sopravvenire del detrito morenico. Parlerò anzi più tardi di un deposito morenico assai più decisamente marino (4), dove i ciottoli sono tutti, con nessuna o poche eccezioni, convertiti in piastrelle, mentre i grossi massi, che vi sono in gran numero disseminati e non han potuto essere smossi dalle onde, si mostrano ancora stupendamente striati e conservano tutti i caratteri glaciali. Perciò, in conclusione, se i ciottoli striati provano la natura morenica del deposito di Cassina Rizzardi, i ciottoli erosi o ridotti a *galets,* di forma marina, dimostrano che quella morena era esposta all'azione del mare. C'è egli qualche cosa di più logico?

Ma anche per codesti *galets* il Sordelli ha le sue osservazioni particolari.

« Persino le piastrelle *(galets)* », dice il Sordelli, « ed i sassi perforati dai litofagi furono prodotti dal prof. Stoppani, Desor e Martins come testimonii della presenza del mare. Non avrò bisogno di grande studio per dimostrare che anche codeste *supposte prove provano un bel nulla.* Anzi tutto i ciottoli appiattiti, o piastrelle, si trovano, non solo in riva al mare, ma anche alle sponde dei laghi d'acqua dolce » (5).

L'autore non si ricorda più che quei *galets* col resto sono associati a centinaja di conchiglie marine. Perciò soltanto li abbiam detti ciottoli marini senz'altro. Ma ciò che vuol provare lui il signor Sordelli nelle sue memorie, è che il deposito di Cassina Rizzardi è fluviale, anzi torrenziale: non se lo dimentichi. Nelle alluvioni torrenziali si trovano dunque forse i *galets?* Quì sta il nodo della questione, a cui l'autore passa sopra, con mirabile disinvoltura. Ma sentiamo come continui a ragionare.

« Ciò che determina la forma (dei ciottoli) non è già la natura dell'acqua, ma la conformazione della spiaggia; bisogna, cioè, che questa sia piana, *a dolcissimo pendio,* sul quale scorrendo l'onda faccia avanzare e indietreggiare il sasso con lunga vicenda. Ora nell'ipotesi emessa dal prof. Stoppani, di un ghiac-

varne di classici, raccolti a Cassina Rizzardi e negli altri depositi morenici a fossili marini, lo prevengo che io ne tengo un discreto assortimento. Ma sarà meglio andarli a raccogliere in sito, chè non si durerà tanta fatica a trovarne. Del resto tutte queste osservazioni divengono (e ne domando perdono al lettore) oziose, dopo che i ciottoli striati con tutti gli elementi glaciali associati alle conchiglie e a tutti gli elementi marini, scoperti in tante località diverse, costituiscono il vero carattere fondamentale dei due grandi anfiteatri di Como e di Ivrea.

(1) *La Fauna* ecc., pag. 22.

(2) *Nuove osservazioni,* pag. 11.

(3) *Ib.*, pag. 12.

(4) Vedi più innanzi, dove si descrive l'anfiteatro glaciale marino della Dora Baltea.

(5) *La Fauna marina di Cassina Rizzardi,* pag. 23.

ciajo che sboccava dal lago di Como e si gettava in mare tra Cucciago ed Appiano (1), come può supporsi l'esistenza di una spiaggia della forma richiesta? Il ghiacciajo, nel supposto che finisse in mare, doveva presentare al suo limite delle *sponde a picco,* come si vede attualmente in quelli delle terre polari; anzi il mare doveva insinuarsi almeno qualche tratto *sotto di esso*, giacchè il ghiaccio, più leggero dell'acqua sormonta sovra di questa. Le frequenti spedizioni artiche hanno ormai resi popolari i paesaggi presentati da quelle inospite regioni, e chiunque, credo, potrà di leggeri persuadersi che dappertutto ove la costa è invasa dai ghiacci, ivi è *impossibile* la formazione delle piastrelle » (2).

Ma intanto nel deposito di Cassina Rizzardi, morena o non morena che sia, le piastrelle ci sono o non ci sono? Sordelli non ne nega l'esistenza, anzi la ammette. E come non doveva ammetterla, se, notate dapprima da Schimper e Desor, lo furono poi da tutti, e se quelle ch'io conservo furono da me raccolte in sua presenza? (3). Quale è dunque l'origine di quei *galets?* Di mare *è impossibile!* lo dice lui il Sordelli; di lago no; di fiume tanto meno. Come vuol spiegarle il signor Sordelli? La sua Memoria si chiude senza dirlo. Invece piastrelle marine, conchiglie marine e ciottoli striati, per quanto non faccia *bisogno di grande studio per dimostrare che provano un bel nulla,* stanno così bene insieme, si richiamano, si vogliono a vicenda nell'*ipotesi* (che non è più un'ipotesi) di un'antica morena littorale. E che la formazione delle piastrelle sulle coste invase dai ghiacci sia tutt'altro che *impossibile,* che sia invece, in condizioni opportune, naturalissima, necessaria, è ciò che passiamo a dimostrare.

Il signor Sordelli si mostra molto erudito in ciò che riguarda le condizioni dei ghiacciai polari, ma nessuno lo è mai abbastanza. È vero che i ghiacciai polari che si avanzano in mare sono descritti dai pochissimi navigatori scienziati che ne parlarono come terminati a picco. Ciò dipende dall'azione demolitrice del mare, che non permette al ghiacciajo di raggiungere il suo limite di flusso naturale, per cui i ghiacciai, e tutte le masse fluenti, sui limiti del rispettivo espandimento, si assottigliano e terminano a zero mediante un pendio descritto da una curva più o meno morbida. Perciò, mentre i ghiacciai della Svizzera non hanno verso il loro termine che uno spessore ossia un'altezza di 10 a 25 metri, o poco più, quelli dello Spitzberg, che non sono certamente i più giganteschi de' ghiacciai polari, terminano con un declivio troncato verso il mare in guisa da figurare una muraglia verticale di 30 a 120 metri d'altezza (4). Ma prima di giungere al mare e subirne l'azione, dovettero giungere al lido e farvi anche una sosta, se questo era imposto da quelle condizioni che fanno avanzare, retrocedere od arrestarsi sopra una data linea i ghiacciai d'ogni specie. In queste condizioni trovò appunto il signor Martins i ghiacciai d'Islanda. « En Islande, par 64° de lat., ... les glaciers atteignent le bord de l'océan. Toutefois ils ne s'avancent pas sur lui, car *il existe toujours une plage libre, qui permet de cheminer entre le glacier et les*

(1) Non tra Cucciago ed Appiano, ma tra il monte Goi e il Castello Baradello, allargandosi poi ad oriente sulla Brianza fino a fondersi col ghiacciajo del ramo di Lecco, e ad occidente fino ad Appiano. *Vedi sopra* a pag. 82 e 83.

(2) *Memoria citata,* pag. 23.

(3) Come ho già detto, la prima volta che io visitai il deposito di Cassina Rizzardi, tutto assorto nell'osservare quanto esso aveva di più importante e di più caratteristico, cioè l'associazione dei ciottoli striati colle conchiglie marine, non rimarcai la presenza dei *galets*, come non mi ricordo d'aver avvertita quella dei ciottoli perforati dai litofagi. Tutte le osservazioni fatte, con idea preconcetta, su questi e su quelli, sembra non abbiano altro scopo che di deviare le menti da quanto vi ha di più fondamentale e sostanziale; da questo cioè, che il terreno di Cassina Rizzardi, e di quasi tutto l'anfiteatro morenico di Como, risulta dalla associazione immediata di tutti gli elementi di una formazione marina, e di tutti quelli di una formazione glaciale. Tornando ai *galets*, osservai tuttavia, quando ne raccolsi più tardi, che essi sono rari a Cassina Rizzardi in confronto dei ciottoli striati, o aventi forme glaciali. Qui adunque l'azione edificatrice del ghiacciajo prevale all'azione demolitrice ed erosiva del mare, mentre vedremo più innanzi come altrove questa a quella prevalga, sicchè i *galets*, in un dato punto dello stesso anfiteatro, si sostituiscono quasi interamente ai ciottoli glaciali. Vedi dove si descrive l'anfiteatro d'Ivrea nel capitolo X.

(4) Ch. Martins, *Voyages en Scandinavie* etc., T. I, pag. 173.

flots » (1). Ecco precisamente il punto in cui la morena frontale del ghiacciajo diventa morena littorale, la quale con forza maggiore o minore, costantemente o a intervalli è battuta dal mare, sicchè un numero maggiore o minore di ciottoli glaciali possano essere convertiti in piastrelle discoidali. Ognun vede come questo possa succedere anche solamente durante le tempeste, sicchè, a lunghi intervalli soltanto, le piastrelle e le conchiglie, scopate via sul fondo dall'onde, vengano lanciate sul lido ove la morena si va formando. In questo caso la morena subirà poco più di una semplice lavatura, e ai ciottoli striati e ai massi erratici si mesceranno, in numero maggiore o minore, piastrelle, ciottoli traforati dai litofagi, conchiglie e tritume di conchiglie. Vuole un altro esempio il signor Sordelli? Esso mi arriva fresco fresco, mentre sto correggendo le bozze. Nel 1850 il ghiacciajo Sorkak, visitato da Rink, distava molti metri dal mare, era cioè un ghiacciajo littorale, un *ghiacciajo-spiaggia*, quasi interamente sepolto alla sua estremità sotto il detrito morenico. Nel 1875 invece il signor A. Helland lo trovò che si avanzava in mare con una poderosa morena, e vi terminava con una parete alta 25 metri sul pelo dell'acqua, alzandosi la morena altrettanto (A. HELLAND, *Ueber die Gletscher Nordgrönlands*, 1877).

Io credo che tali, come nei due esempî citati, fossero su per giù le condizioni del ghiacciajo del ramo di Como nel gran periodo di sosta in cui si formò la morena di fondo tra Camerlata ed Appiano. Il lido del mare, quando il ghiacciajo stava per arrivare, era necessariamente, lungo quel tratto, la base della piccola catena di Monteolimpino (come si può vedere sulla *Tavola* XIV) che si prolunga da est a ovest dal Castello Baradello ad Olgiate seguendo approssimativamente la via postale tra i due paesi. La località di Cassina Rizzardi e le altre di Ronco, Bulgaro Grasso, Caccivio ecc., di cui diremo, non distano da quell'antico lido che da uno a cinque chilometri, il che vuol dire che il ghiacciajo vi aveva appena tratto di spazio che bastasse a spiegare la sua fronte, occupando la spiaggia, e diventando spiaggia esso medesimo.

Ma supponiamo pure delle condizioni meno favorevoli. Supponiamo che, pel suo avanzamento, il ghiacciajo si trovasse già colla sua fronte dove il mare aveva una profondità già riguardevole. Supponiamo pertanto che lo stesso ghiacciajo soffrisse già talmente dell'azione erosiva del mare, da terminare a guisa di muraglia verticale come in generale i ghiacciai dello Spitzberg e della Groenlandia. Non è punto vero che, come dice il Sordelli, il mare dovesse per questo *insinuarsi almeno per qualche tratto sotto di esso, giacchè il ghiaccio, più leggero dell'acqua, sormonta sopra di questa*. Nelle regioni polari il mare si insinua sotto i ghiacciai, non solo qualche tratto, ma dei buoni chilometri; e noi terremo in serbo questo fatto per spiegare altri fatti relativi ai nostri anfiteatri. Ma il mare non può insinuarsi sotto il ghiacciajo, nè il ghiacciajo può porsi a galla sull'acqua, se non a patto che quello sia almeno 6 volte più profondo di quanto è alto questo nella porzione che emerge (2). Supponiamo che la fronte di un ghiacciajo si elevi a picco 20 metri sopra il livello dell'acqua: per galleggiare, bisognerà che in quel punto il mare sia profondo 120 metri. Finchè un ghiacciajo non trovi una profondità che sia il sestuplo della sua altezza emergente, dovrà posare e strisciare sul fondo marino, precisamente come fanno i ghiacciai alpini sul fondo delle rispettive valli (3).

(1) Ch. MARTINS, *Voyages en Scandinavie, etc.*, T. 1, pag. 143.

(2) Si calcolò che la parte emergente di un pezzo di ghiaccio galleggiante nell'acqua è di $^1/_8$. Pel ghiaccio polare si è trovata invece all'incirca di $^1/_7$, il che deve attribuirsi in parte alla porosità propria del ghiaccio dei ghiacciai, in parte alla maggiore densità dell'acqua marina.

(3) Ecco come si esprime in proposito il celebre Scoresby nel suo *Viaggio all'isola* Jan Mayen (1819). « Quando il mare è poco profondo, il ghiacciajo si avanza ad una certa distanza; quando è profondo e coperto abitualmente di ghiaccio, come è il caso della baja di Baffin, allora il ghiacciajo si avanza in mare a grande distanza dal lido, finchè non abbia trovato una profondità di alcune centinaja di piedi. È allora che, demolendosi, dà origine alle moutagne di ghiaccio galleggiante, che si incontrano così scvente ad oves t della Groenlandia ». De Luc, appoggiandosi ai dati attinti al viaggio di Ross, tanto celebre per le sue osservazioni sui ghiacciai antartici, così si esprime. « Des glaciers

Vede il signor Sordelli? Supposto che il ghiacciajo del lago di Como avesse una fronte elevata 121 metri sul livello del mare (credo di non dire nemmeno il quarto di ciò che doveva essere realmente), come il ghiacciajo di Horn Sound misurato da Scoresby sulle coste dello Spitzberg, per galleggiare doveva avanzarsi in mare almeno quanto bastasse a trovarvi una profondità di 726 metri. È però vero che l'acqua marina, mantenendosi ordinariamente sopra zero anche sotto le latitudini più avanzate (1), sciogliendo una certa porzione del ghiaccio immerso, deve formare delle caverne, anzi una gran caverna estesa quanto la fronte del ghiacciajo, a cui la parte emergente serve di volta, sicchè il mare, per questa, non per la ragione addotta dal signor Sordelli, si avanza qualche tratto sotto il ghiaccio. Vediamo che cosa doveva avvenire in ogni caso finchè il mare non avesse una profondità maggiore di 10, di 20, di 50 metri. Tutto quel detrito morenico che bastò ad edificare quel colossale anfiteatro, doveva precipitare mano mano sul fondo del mare; levarsi a cumulo, finchè il mare stesso o presto o tardi fosse colmato in quel punto, e la morena di fondo, trasformata in banco o montone morenico. Intanto il mare, specialmente quando era mosso dal vento o sconvolto dalla tempesta, continuava a lavare, a smovere, a rodere il detrito morenico, con efficacia maggiore o minore, secondo la profondità e l'efficacia maggiore o minore dell'azione antagonistica del ghiacciajo, da cui andava franando sempre copioso il detrito. Non pare al signor Sordelli che in queste condizioni non sia più *impossibile* la fabbricazione delle piastrelle? Non gli pare anzi che il mare potesse e dovesse fabbricare piastrelle, rotolare i ciottoli traforati dai litofagi, scopare conchiglie dal fondo, e intanto il ghiacciajo scaricare in mare i ciottoli striati, i massi d'ogni forma, il tritume d'ogni misura, sicchè ne risultasse un qualche cosa che, per fissare un termine, chiameremo deposito simile a quelli di Cassina Rizzardi? (2).

immenses, formés dans les gorges et dans les vallées qui aboutissent à la mer, sont poussés en avant, et arrivent sur une eau profonde; pendant quelque temps la glace se soutient par la force de la cohésion; mais lorsque la masse, qui est sans appui, devient trop considérable pour se maintenir par cette seule force, elle se rompt et s'enfonce dans la mer aux quatre cinquièmes de sa hauteur, et si l'eau est assez profonde, cette masse est mise à flot. Le glacier continue à s'avancer dans la mer, de nouvelles masses s'en détachent, et ainsi se forment, à la suite des temps, les chaînes de montagnes de glace. Si la mer a peu de profondeur dans une baie, le glacier s'avance *reposant et glissant toujours sur le fond de la mer*, et c'est ainsi qu'on voit des glaciers immenses s'étendre de plusieurs milles dans la mer sans qu'aucune masse s'en sépare. Ils ont pris, pour ainsi dire, la place de la mer dans la baie » (Ch. Martins, *Voyages en Scandinavie etc.* T. I, pag. 175). Il posare del ghiacciajo sul fondo marino non toglie però che l'acqua, colla temperatura superiore a zero che possiede sovente principalmente d'estate nel Mare Glaciale, non sciolga la base sommersa del ghiacciajo, formandovi sotto una caverna che si prolunga su tutta la fronte del ghiacciajo, al modo stesso che il torrente che sbocca dalla fronte di un ghiacciajo alpino vi forma quella grotta, talvolta molto spaziosa, che si chiama *porta del ghiacciajo*. In questo senso si può consentire al Sordelli che il mare si insinui *per qualche tratto* sotto il ghiacciajo, anche quando posa sul fondo; e questa escavazione della base, che può essere anche profondissima, può bastare a determinare il distacco e la caduta di grandi pezzi di ghiaccio, che si pongono a galla. Anche le volte dei ghiacciai alpini si sfondano talvolta, come ha fatto la porta del ghiacciajo del Forno, a S. Caterina di Bormio, nel 1863, sicchè un gran numero di enormi massi di ghiaccio vennero giù travolti dal torrente. Pare che il signor Martins *(Op. cit.)*, il quale potè introdursi in barca sotto la volta che il ghiacciajo della baja della Maddalena *(Spitzberg)* fa sul mare, abbia generalizzato troppo, sostenendo, con argomenti per nulla convincenti, che i ghiacciai dello *Spitzberg* nè posano nè strisciano sul fondo. Vedremo del resto che, comunque il mare si insinui sotto il ghiacciajo, la formazione della morena di fondo, precisamente in corrispondenza colla fronte visibile del ghiacciajo stesso, e quella pertanto delle piastrelle col resto, non siano punto impedite.

(1) Il massimo di temperatura del mare nella baja di Baffin osservato da Ross tra il 63° e il 75° di latitudine è nell'estate di + 1° 11 C., e il minimo di — 1° 11. Allo Spitzberg, anche sotto l'80° di latitudine la temperatura fu da Ch. Martins trovata quasi sempre superiore a + 1°C.

(2) Un opuscolo del signor Amund Heliand di Cristiania (*Ueber die Gletscher Nordgröndlands*), che mi arriva, come dissi, mentre sto già correggendo le bozze di queste pagine, cita tra i molti altri un fatto che merita di essere citato, come quello che risponde appuntino a quanto ho or terminato di dire per sola, benchè naturalissima induzione. Ecco le parole dell'autore. « L'imponente ghiacciajo di Sermiarsut (Groenlandia, distretto di Umanak, tra il 68° e il 71° di latitudine nord) che nel 1850 si inoltrava in mare, si presentava nelle stesse condizioni nel 1875. Questo ghiacciajo è singolarmente rimarchevole per l'altezza d'una delle morene laterali, la quale si eleva 183 metri. È la più alta tra le morene moderne ch'io abbia visto. In seno alla morena vedevasi un piccolo lago senza emissario. Da quel ghiacciajo si può osservare il *continuo precipitare delle pietre in mare*. Questo fenomeno è molto me-

Ma supponiamo pure che il ghiacciajo del lago di Como, o fosse profondamente scavato alla base per effetto dell'alta temperatura dell'acqua marina, o pescasse a sufficienza, per tenersi a galla, sicchè il mare si insinuasse sotto ad esso, non importa se pochi centimetri o molti chilometri. E che perciò? I massi e tutto il tritume glaciale, precipitando dalla fronte emergente del ghiacciajo, si accumulerebbe ugualmente sul fondo, formando una morena frontale sotto-marina, che, alzandosi fino al livello della oscillazione delle onde, sarebbe ugualmente soggetta all'azione erosiva e distributiva del mare. Nelle tempeste ordinarie l'azione meccanica delle onde si fa sentire benissimo alla profondità di 30 metri, ma nelle straordinarie assai più (1). Ovunque il mare possa muovere dei ciottoli, li trasforma in piastrelle.

Non faccia specie al lettore se, misti alle piastrelle, si trovano qui e altrove dei ciottoli striati conservatissimi. Mentre il mare lavorava ad intervalli a rotondare ed assottigliare i ciottoli del ghiacciajo, questo ne scaricava in mare continuamente quantità enormi di nuovi, sicchè molti di essi potevano essere dal loro stesso numero protetti dall'azione del mare, ridotta ad esercitarsi sui più superficiali. Qui si tratta di un antagonismo tra il mare che demolisce, e il ghiaccio che accumula. L'efficacia dell'uno e dell'altro agente è condizionata a tante circostanze facili a intendersi da ciascuno. Ove prevalga il mare, saranno più numerose le piastrelle; ove il ghiacciajo, più numerosi saranno i ciottoli striati. A Cassina Rizzardi, e in tutto l'anfiteatro di Como prevaleva, non v'ha dubbio, l'azione del ghiacciajo. Si imagini infatti quale enorme tributo doveva portare al mare, questo antico ghiacciajo, che, inconscio ministro della Provvidenza, veniva recandosi sul dorso tutto il materiale pel grande edificio dei piani e dei colli che stanno tra Milano e Como, tra l'Adda e l'Olona. Chi si fosse avanzato su quell'antico mare, fino all'imboccatura di quel *fiord* da cui veniva sbucando il ghiacciajo del ramo di Como, si sarebbe ingannato, credendo di inebbriarsi dello spettacolo sublime di un gran mare di ghiaccio, irto di candide guglie, e rotto da crepacci azzurri. Egli non avrebbe veduto che un immane sasseto. Ricordi il lettore il ghiacciajo dell'Aar che scompare sotto la sua morena mediana assai prima di giungere al suo termine nella valle (2). Il ghiacciajo di Macugnaga, da me veduto in quest'anno (1876), non sembra, per lungo tratto, che il letto sassoso di un torrente asciutto, tanta è la copia del materiale, reso libero dal disgelo di questi ultimi anni, e giacente sulla superficie. Ma questi non sono che ghiacciai microscopici in confronto dell'antico ghiacciajo, che nudrito dalla confluenza di cento ghiacciai, condensava in sè solo lo sfasciume di mille montagne (3). Ritengo che nemmeno gli attuali ghiacciai della Groenlandia siano sufficienti a darci, per rapporto alla quantità di detrito morenico, un'idea adeguata della potenza degli antichi ghiacciai delle Alpi. È vero che i visitatori dei mari polari ci descrivono enormi morene, e montagne di ghiaccio galleggiante interamente coperte di fango o di pietrame. Ma pare che nella Groenlandia, per riguardo almeno al distretto di Umanak descritto da Rink, Helland ecc., il detrito provenga quasi esclusivamente dalle coste, che si mostrano nude nella regione inferiore dei ghiacciai, dove veggonsi delle montagne alte fin

ritevole di rimarco sotto due aspetti. In primo luogo perchè mostra chiaramente come in seno alle morene (quelle, s'intende, che si formano sul fondo del mare per la caduta delle pietre) possono rimanere sepolti degli animali marini, *come è il caso delle morene all'estremità meridionale del Lago di Como* (*vor dem Comersee*) in Italia. In secondo luogo la caduta dei sassi interessa la questione del loro trasporto ecc.

(1) Si narra di una tempesta all'isola Borbone, la cui azione sarebbe stata sentita fino alla profondità di 188 metri, e Maury parla di massi di 13 metri di grossezza sradicati dal fondo del mare sulle coste delle Antille.

(2) Vedi sopra, a pag. 18, fig. 4.

(3) Il ghiacciajo della baja della Maddalena (Spitzberg) osservato da Ch. Martins, era tutto pieno di pietre dai due lati, tanto nell'interno quanto alla superficie, che ne era coperta per circa $^1/_8$ verso l'estremità inferiore. La parte di mezzo era affatto priva di detrito. Ma questo ghiacciajo è una semplice vedretta, larga e lunga meno di due chilometri, e perciò, come osserva lo stesso Martins, senza morena mediana. Il ghiacciajo del lago di Como risultava dall'unione di cento ghiacciai, ed era lungo, misurandolo soltanto da Bormio a Como, circa 170 chilometri.

2000 metri. Invece nell' interno pare che l' *Inland Ice*, cioè il gran mare di ghiaccio da cui discendono i ghiacciai nei canali di mare detti *fiords*, ricopra quasi interamente il paese, sicchè non è fornito che di morene poverissime (1). Invece tanto nelle Prealpi quanto nelle Alpi il limite dei massi erratici e delle rocce arrotondate ci assicura che i nostri monti le cui cime a centinaja si elevano al disopra di 2000, di 3000 e fin di 4000 metri, sovrastavano di molto ai ghiacciai anche nel periodo del loro massimo sviluppo, fornendo loro quell'enorme quantità di detrito, di cui sono altrettanti campioni tante migliaja di massi erratici, che ci danno decine e centinaja di metri cubici ciascuno. Ritengo anzi che la massa di detrito che compone quelle che siamo soliti a chiamare propriamente morene, non hanno punto un volume proporzionato a quella che i ghiacciai dovevano realmente deporre sulla loro fronte. La morena frontale del ghiacciajo di Macugnaga, la più poderosa ch' io abbia visto nelle Alpi, non può aver meno di 200 metri d'altezza sul fondo della valle. Non si può dir nemmeno altrettanto dei nostri antichi anfiteatri morenici. Ciò costituirebbe un problema insolubile se non si ammettesse che i nostri ghiacciai si scaricavano in mare, sicchè la parte fine del deposito, che è d'ordinario la parte maggiore, oltre ad una considerevole porzione del più grosso detrito, veniva dispersa dalle onde sopra ben più vasto spazio di quello che sarebbe stato occupato dalle morene altrimenti, venendo impiegato a colmare dapprima il mare, ed a costruire sotto di esso quei vastissimi bassi fondi, che vedremo rappresentati dai grandi terrazzi che si distendono sulla fronte o ai fianchi degli anfiteatri morenici. Ma passiam oltre e sentiamo che cosa abbia da dire il signor Sordelli per riguardo ai ciottoli traforati dai litofagi che si associano alle piastrelle ed ai ciottoli striati.

I ciottoli perforati dai litofagi sono di provenienza marina: non v'ha dubbio. Il sig. Sordelli ha bisogno che diventino fluviali. Presto fatto. Si imagina una rupe traforata dai litofagi; questa a suo tempo si solleva, e viene a far parte del continente; esposta alle intemperie, si rompe e frana; i torrenti si impossessano di quei ruderi, come degli altri delle morene che ugualmente si sfasciano, finchè li depone, coi ciottoli striati, colle conchiglie marine, formando di tutti un solo impasto alluvionale. Siamo sempre e poi sempre a codesta assurda, impossibile associazione di ciottoli striati e conchiglie marine in un deposito torrenziale. Ma non badando a questo, è certo che di antiche rupi traforate da litofagi, sollevate a far parte di continenti, sbranate dall'azione meteorica, e disseminate in ciottoli in seno alle alluvioni, ce n' ha chi sa quante. Ma il sig. Sordelli ignorava o non voleva ricordarsi che litofagi di più generi e specie s'internano nei ciottoli liberi sul littorale, lasciandosi cullare e rotolare dalle onde (2); non voleva credere, mettendo cortesemente in dubbio le mie più esplicite dichiarazioni, che molte di quelle conchiglie fragilissime si vedevano ancora intatte entro le rispettive gal-

(1) In un altro scritto appena inviatomi dal signor Helland (On the Fjords, Lakes and Cirques in Norway and Greenland) l'autore descrive l' *Inland Ice* così. = Il gran campo di ghiaccio che copre la Groenlandia dev'essere più esteso di tutta la Scandinavia. Visto dall' alto delle montagne littorali, sembra un mare senza confine che si distende su quella terra. In nessun punto si vedono montagne che ne emergano. Solo sul davanti si osservano porzioni di scogliere nude, che escono fuori. La superficie morbida, appena ondulata, è percorsa da veri torrenti, e sparsa di coni di sabbia, di ghiaja e di stagni a fondo fangoso. Si osserva però una morena laterale alta circa due metri, che copre un'orlatura di ghiaccio larga 16 metri.

(2) Forse il sig. Sordelli si vorrà salvare dicendo che io e il sig. Martins parlavamo di *foladi*, non di litofagi in genere. Ma faccio osservare che il nome generico di foladi si usa spesso, benchè meno esattamente al certo, per l'altro più generico di *litofagi*. Sa del resto il sig. Sordelli che il genere *Pholas* andò soggetto a riduzioni e smembramenti forse un pochino arbitrarî, e che, per es., il genere *Jaunnetia* di Desmoulins, di cui una specie è dallo stesso Sordelli indicata nei ciottoli perforati di Cassina Rizzardi, non può, secondo Dujardin, staccarsi dalle vere foladi (Ch. d'Orbigay, *Dictionn.* all'art. *Pholade*). Del resto il sig. Sordelli, così distinto conchigliologista qual è, non aveva egli stesso sotto gli occhi i ciottoli perforati, per vedere se i perforatori potevano determinarsi come appartenenti ad un genere piuttosto che ad un altro, o per ritener que' fori siccome di litofagi senz'altra specificazione, fino a tanto che non avesse visto le conchiglie? A che pro tutte quelle osservazioni, che supponevano come stabilito ciò che si doveva stabilire?

lerie (1); ignorava di più che quei litofagi, che egli stesso ha poi così ben determinati e studiati, sono specie ancor viventi, o che appartengono a terreni recentissimi (2). Per queste ragioni scuseremo il Sordelli d'aver dette tante cose nella sua prima Memoria, che dovette poi tacere o disdire nella seconda. Mi permetta soltanto un riflesso che mi pare legittimo. Se il portare, come dice nella 1.ª Memoria (3), *sempre le tracce di una erosione profonda, e l'essere sezionati in ogni senso, dimostra chiaramente* che quei ciottoli traforati dai litofagi *rotolano per lungo tempo* (intende in balia d'un torrente) *prima di giacere interrati* (intende nell'alluvione); il fatto, osservato dal prof. Mercalli (4) e verificato da me, che si trovano a Cassina Rizzardi di quei ciottoli coll'*orificio dei fori a margine acuto, come fosse tagliato fuori con uno stampo*, ed hanno *orificio tagliente*, dimostra, per sua stessa confessione (5), che non furono punto rotolati, dopo aver subìto l'operazione del trapanamento. I due fatti, apparentemente contraddicenti, di fori guasti e di fori intatti, come gli altri due, ugualmente contradditorî, di ciottoli striati, e di piastrelle discoidali, formanti tutt'insieme lo stesso deposito, non escludono forse assolutamente l'idea di un deposito torrenziale? Non si conciliano invece benissimo, nel modo più naturale, più necessario, coll'ammettere, sempre e poi sempre, la morena sottomarina, sulla quale si esercitavano, con alterna prevalenza, l'azione erosiva del mare e l'azione conservatrice del ghiacciajo? (6).

I ciottoli perforati i quali, come i disicoidali, caddero in origine dal ghiacciajo in mare, e furono rosi dai litofagi, non conserveranno più certamente le strie glaciali. E così è. Si raccolsero a centinaja, e nessuno mai che vi notasse una stria.

(1) Stoppani, *Sui rapporti*, ecc., pag. 7. — Sordelli, *La Fauna*, ecc., pag. 23.

(2) Le specie determinate dal Sordelli sono 4. Due (*Petricola lithophaga*, Retzius, e *Gastrochaena dubia* Penn.) sono viventi, e comunissime nel Mediterraneo e altrove; poi si trovano nei terreni detti *pliostocenici*, da associarsi in genere ai terreni glaciali e postglaciali. Tutte e quattro poi si trovano nel *pliocene*, come è inteso in genere dai geologi, che, come ho altrove dimostrato, e come risulta dalla stessa questione che qui trattiamo, deve ritenersi per buona parte equivalente e contemporaneo del terreno glaciale (*Corso di geologia*, Vol. II, Cap. XXIX). Tre discenderebbero fino a quegli strati superiori del *miocene* (Bacino di Vienna, *falhuns* di Bordeaux, ecc), destinati probabilmente a diventare pliocenici (*Corso di geologia*, ib., Cap. XXV).

(3) *La fauna marina*, ecc., pag. 24.

(4) *Osservazioni geologiche*, ecc.

(5) *La Fauna marina*, ecc., pag. 24.

(6) Intendo così di rispondere anche a quella *nota* (*La Fauna*, ecc. pag. 23) colla quale il sig. Sordelli crede di avermi colto in contraddizione, quando dissi che l'associazione dei ciottoli rosi dal mare e traforati dai litofagi, con altri conservanti le finissime strie che v'incise il ghiacciajo, ci obbliga ad ammettere che, mentre da una parte i ciottoli da trasformarsi in piastrelle o da traforarsi dai litofagi dovettero rimanere scoperti sul fondo marino per mesi e forse per anni, dall'altra il tritume glaciale franasse in tanta copia in seno alle onde che coprivano il lido, che i ciottoli, erosi, perforati, striati si servissero a vicenda di schermo. Parmi che il mio concetto, ben lungi dall'ammettere nessuna contraddizione, fosse chiarissimo e rigorosamente logico. È infatti logico e naturalissimo quello che voleva dire, che cioè le piastrelle e i ciottoli traforati, battuti sul lido, venivano sepolti sotto i ciottoli che franavano dal ghiacciajo, e così sottratti tanto alla furia ulteriore del mare quanto all'ulteriore edacità dei litofagi, mentre ai ciottoli striati, sepolti ad un tempo sotto i nuovi rigetti del mare e le nuove frane del ghiacciajo, non si permetteva nemmeno di provare il primo morso dei due agenti distruttori. Spero che il sig. Sordelli non vorrà più ripetere quella frase: *In verità io non riesco a capirlo* (*La Fauna*, ecc. pag. 24). Del resto dove c'è questione di antagonismo tra due cause così complesse, variabili, intermittenti, che tendono ad elidersi o a bilanciarsi, chi può fissare i limiti della prevalenza possibile dell'una o dell'altra, e definire tutte le possibili risultanti della loro azione associata? Per es., i larghi intervalli annuali o secolari con cui si succedono le grandi tempeste, basterebbero nel caso a spiegare come un ciottolo, internato in mare da una prima tempesta abbastanza lontano dal ghiacciajo che lo lasciò cadere, possa rimanere lungo tempo sul fondo, a lasciarsi dondolare dalle onde o rodere dai litofagi, prima che un'altra tempesta lo sbatta sulla spiaggia di nuovo. Così le oscillazioni annuali o secolari dei ghiacciai possono spiegare come un ghiacciajo marino debba, sopra un dato punto, oggi permettere la prevalenza del mare e domani far sentire la sua. Si ricordi l'esempio citato del ghiacciajo di Sorkak a pag. 150. Ma è proprio umiliante, in mezzo a tanta copia, a tanta grandiosità, a tanta luce di fatti, dover perdere il proprio tempo e rubarlo ai lettori per intrattenersi di tante minuzie di fatti e di parole. Ma bisogna farlo perchè, se il sig. Sordelli ritorna all'assalto, studî un po' meglio l'argomento e un po' anche le frasi, che non sono tutte un profumo di galateo, come quando dice a pag. 21 (*nota* 27) della sua prima Memoria: *mi par già di combattere, come don Quixote, contro mulini a vento.* È vero che in quella *nota* parla di me soltanto.

Lo stesso Sordelli nella sua prima Memoria scrive, sottolineando le parole: *non sono giammai striati* (1). Ma nella seconda Memoria, *eccone uno!* esclama trionfalmente; *ma appunto perchè è perforata dai litofagi e porta anche delle strie glaciali, esso viene a confermare brillantemente la mia tesi* (2). Uno!!! Dopo che i ciottoli traforati dai litofagi si raccolsero a centinaja, da italiani e stranieri senza scoprirvi una stria; dopo i tanti raccólti da lui stesso, che ebbe a dire *non sono giammai striati*!... Via: se il ciottolo presentato alla *Società italiana di scienze naturali* è quello stesso sul quale io gli feci notare una certa scalfitura, che poteva essere presa per una stria glaciale semi-obliterata; non lo chiami subito subito un ciottolo striato. Quando io dico ciottoli striati, dico e mostro centinaja di ciottoli, coperti di migliaja di striature, come i più caratteristici fra i ciottoli morenici. Nel caso che quella scalfitura, od altre che vi avesse scoperto, fossero tali da allontanare assolutamente il sospetto che si dovessero attribuire p. es. alla confricazione dei ciottoli impigliati nella morena, o allo stesso strumento che servì a scavarli, la cosa più ovvia era di dire che, per quanto tutti i ciottoli perforati, raccolti a centinaja, non mostrino più le strie glaciali che dovevano coprirli in origine, uno od alcuni si sottrassero all'azione del mare in tempo, per conservarne ancora qualche traccia. Sarà sempre più facile intendere un ciottolo striato, conservatosi anche a lungo sulla superficie del fondo marino, che un altro il quale conservi le strie dopo essere stato (secondo la tesi sostenuta dal Sordelli) rotolato da un torrente. Un ciottolo striato può essere benissimo traforato dai litofagi e rispettato dalle onde che ne cancellerebbero le strie; ma non ci sarà mai caso che le strie stesse siano rispettate dal torrente che i ciottoli strascina e rotola. Lascio dunque di tener dietro all'ipotesi acrobatica delle migrazioni di quel povero ciottolo, il quale, come narra il sig. Sordelli, traforato chi sa quando dai litofagi in mare, sollevato chi sa quando e a chi sa quale altezza, entro un deposito innominato, cadde sul ghiacciajo, fu sepolto nelle sue viscere per subire l'operazione della striatura, poi condotto al suo sbocco, vomitato col resto della morena, rapito dal torrente, deposto nell'alluvione di Cassina Rizzardi (3). Ma se quel torrente era così pietoso con quest'uno, perchè così implacabile cogli altri mille? Via, sig. Sordelli! ritorni alla prima lezione, e ripeta pure con coraggio: *non sono giammai striati!* E se vuole venirci ancora innanzi col suo ciottolo perforato e striato, equivoco anche codesto, ce ne mostri almeno un altro che gli faccia compagnia. Di ciottoli striati ce ne son tanti a Cassina Rizzardi!... (4).

Siamo finalmente all'analisi dell'ultimo elemento costitutivo di quella non più strana ma naturalissima formazione. Parlo delle conchiglie marine. Conchiglie marine e ciottoli striati, ecco, per dirlo la centesima volta, i testimonî irrecusabili di una *morena marina!* Il Sordelli non le nega; ne ha fatto tra lui e i suoi amici, degli ammassi; ne ha determinato più di 150 specie!... Non vi ha forse deposito marino, nemmeno nelle colline subapennine, che sopra un' area di cinque o sei metri quadrati, abbia offerto tanta copia e tanta varietà di reliquie marine. Che importa? È un torrente che le ha deposte colà, coi ciottoli striati e massi glaciali d'ogni forma, coi ciottoli discoidali, coi ciottoli perforati dai litofagi. Perchè? Perchè il sig. Sordelli ha fatto lui questa grande scoperta, che le conchiglie di Cassina Rizzardi sono guaste. Infatti il sig. Sordelli scrive quattro pagine di

(1) *La Fauna*, ecc., pag. 24.

(2) *Nuove osservazioni*, ecc. pag. 12.

(3) Vedi *Nuove osservazioni*, ecc. pag. 12. In una *nota* a pag. 13 della sua prima Memoria il sig. Sordelli, con troppo visibile allusione a me ed a' miei amici, parlò di un osservatore coscienzioso, che non scriveva *poemi geologici*. Ma codesti suoi (scusi) sono romanzi alla Verne.

(4) Siccome ho detto di volermi tenere alla sola località di Cassina Rizzardi, senza cercar sussidio al mio argomentare nei fatti scoperti in altre posteriormente; lascio di domandare al sig. Sordelli: come mai i ciottoli perforati sono condensati a migliaja in quel piccolo posto, mentre non se ne osservò che raramente alcuno a Ronco, e nessuno, ch'io sappia, altrove? Non si tratterebbe forse sempre della stessa alluvione?... Nei costumi degli animali marini si troverà benissimo la ragione perchè i litofagi abbiano preferito questa piuttosto che quest'altra porzione della stessa spiaggia. Ma quale sarà la ragione per cui, in uno stesso deposito torrenziale, i ciottoli d'una stessa qualità e provenienza abbondino in un punto, e scarseggino o manchino affatto in un altro?

stampa per esprimere questo fatto, che le conchiglie di Cassina Rizzardi sono per la maggior parte spezzate e logore, e si scaglia contro il Desor che le disse *tèrs-bien conservées et nullement roulées*, e contro il Martins che le chiama *admirablement conservées*, e contro di me che spinsi l'audacia fino al punto di asserire che sono tinte *ancora dei nativi colori* (1). Ma non fui io anche il primo a stampare di un *tritume di conchiglie*, e a dire che il deposito di Cassina Rizzardi rappresentava un *lido, proprio una spiaggia, sulla quale erano trastullo delle onde le conchiglie scopate dal fondo marino del pari che i ciottoli sdrucciolanti dal ghiacciajo*? (2) Ed è infatti così. Vi sono in quella morena di fondo conchiglie *conservatissime, niente rotolate, ammirabilmente conservate, ornate delle loro costicine e strie caratteristiche, tinte ancora dei nativi colori, ancora luccicanti della nativa madreperla*, come dissimo Desor, Martins, Spreafico ed io: e vi sono conchiglie *smussate, rotolate, ridotte in pezzi*, e tutto un *tritume*, come abbiamo scritto io e Spreafico (3) assai prima che il Sordelli menasse tanto scalpore sul fatto, da lui ritenuto favorevole alla sua tesi, che le conchiglie di Cassina Rizzardi sono guaste, per nascondere o attenuare quell'altro, non meno vero ma a lui decisamente contrario, che ve ne sono di conservatissime. Se avete dei buoni argomenti da metter fuori, perchè ricorrere alle vecchie arti del sofista?

Il signor Sordelli, quando scriveva la sua Memoria, aveva sotto gli occhi le relazioni di Desor e di Martins, le quali parlano di conchiglie *benissimo conservate mirabilmente intatte*. Aveva sotto gli occhi gli scritti miei e quelli di Spreafico, che dicono la stessa cosa anche meglio, e discorrono al tempo stesso di conchiglie *ridotte in pezzi, rotolate*, e di un *tritume di conchiglie*. Chiunque ne avrebbe cavato semplicemente la conseguenza che ce n'erano di guaste e di intatte; si sarebbe formato un'idea esatta dello stato di quel complesso di fossili; poi, messo insieme ciò che riguarda i fossili con quello che si riferisce alle piastrelle, ai ciottoli perforati, ai ciottoli striati, ai rapporti del deposito di Cassina Rizzardi coll'anfiteatro morenico, ecc., ne avrebbe dedotte le sue conclusioni circa la natura e l'origine del deposito stesso. Chiunque, non fuorviato da idee preconcette, avrebbe detto così: « Quelle conchiglie in posto propriamente non sono, perchè per la maggior parte rose, spezzate, triturate. Condotte da lontano o peggio rotolate da un torrente, no, perchè ve n'ha molte perfettamente intatte (4). Dunque?..

(1) Il Sordelli a pag. 14 della sua prima Memoria domanda: *con quali occhiali il prof. Stoppani abbia potuto vedere i nativi colori sulle conchiglie calcinate* di Cassina Rizzardi. — Rispondo: cogli stessi occhiali con cui il sig. Sordelli osservò le macchie gialle che caratterizzano anche viva la *Natica millepunctata*, e notò di più la tinta plumbea e le fasce nere della *Nerita Bronnii*, e trovò colorati il *Buccinum polygonum*, la *Pleurotoma turricula*, la *Pisania striatula*, la *Terebra pertusa*. C'è solo questa differenza, che il sig. Sordelli non vuole che si dica *colori nativi* (cioè naturali, secondo natura, come portano i dizionari), ma *disegni primitivi*. Come è sottile il sig. Sordelli! Intanto però, qualunque delle due espressioni si adotti, i paleontologi dovranno dire che, se vi hanno a Cassina Rizzardi conchiglie spezzate e logore, ve n'ha altre certamente che sono, come si espresse il Martins, *admirablement conservées*, mentre non c'è nulla che esprima e dimostri tanto lo stato di perfetta conservazione dei fossili quanto la persistenza della colorazione e dei disegni superficiali.

(2) *Il mare glaciale a' piedi delle Alpi*, pag. 31.

(3) *Conchiglie marine nel terreno erratico di Cassina Rizzardi presso Fino determinate dall'ing.* Emilio Spreafico *(Atti della Società ital. di Sc. nat.*, T. XVII, pag. 432). Questa *nota postuma* si deve in certo senso allo stesso sig. Sordelli che la presentò alla Società ital. nella seduta del 29 novembre 1874, previa lettura di una commovente biografia dell'illustre defunto, di cui lodava la *rara perizia dell'osservare*. Nella *nota postuma* lo Spreafico presentava già un catalogo di 53 specie di Cassina Rizzardi da lui determinate e discusse nei rapporti geologici. Quanto al loro stato di conservazione si esprimeva così: « Le conchiglie fossili di Fino, chè così le chiamo per brevità, non si rinvengono sempre intatte: anzi, le più grandi, quali ad esempio, gli Strombi, i Murici, i Fusi, le Pleurotome, le Veneri, i Cardii, si trovano sempre ridotte in pezzi, e i loro frammenti cogli spigoli smussati, come se avessero a lungo rotolato in balia delle onde; al contrario, le piccole *facilmente si ottengono intere*: così i Buccini, le Columbelle, le Neriti, ecc.; specie minutissime, quali le Rissoe, le Ringicole, le Defrancie, ecc., *sono di una conservazione perfetta, e vanno ancora ornate delle loro costicine e strie caratteristiche.* »

(4) Ritengo però ancora, senza cedere d'un passo, che dal letto di un torrente o da una alluvione torrenziale non si possono nè si potranno raccogliere in nessun caso, non solo conchiglie intatte o almeno intere, a centinaja e migliaja, ma nemmeno conchiglie rotte o frantumi di conchiglie in piccol numero. (Vedi sopra, a pag. 146).

dunque quelle conchiglie, piccole o grandi, intatte o logore, furono (appunto come io sostenni e sostengo) scopate dal fondo marino, e sbattute sopra una spiaggia, trastullo delle onde, colle piastrelle, coi ciottoli perforati, nel sito stesso dove un ghiacciajo versava i suoi sassi e i suoi ciottoli striati ». Non siete mai stati alla spiaggia del mare? Non avete mai visto alcune di quelle casse ripiene di conchiglie più o meno intatte, più o meno fresche, ed anche freschissime, raccolte di mezzo a un tritume di testacei marini sui lidi di Venezia, che sono messe in commercio per farne oggetti di ornamento? (1)

Bisogna anche tener conto (e questo valga anche per quanto abbiam detto circa le piastrelle discoidali miste a ciottoli striati conservatissimi), bisogna dico tener conto anche dell'effetto delle maree. Effetto dell'alta marea, che doveva essere molto maggiore allora a' piedi delle Alpi che oggi a Venezia (2), è di sommergere una certa porzione della spiaggia, in certe condizioni assai vasta (3), che la bassa marea lascia di nuovo all'asciutto. Durante l'alta marea un venticello basta perchè il mare butti sulla spiaggia temporaneamente occupata, delle ghiaje composte di piccole piastrelle, e conchiglie vuote, che rimangono sul lido asciutto quando viene il riflusso (4). Nel caso nostro aveva tempo il ghiacciajo di seppellire piastrelle e conchiglie sotto nuovo detrito morenico, proteggendole dall'azione erosiva del sorvegnente flusso.

Alcune finissime osservazioni del signor Sordelli (di questo sarò sempre disposto a lodarlo) ajutano mirabilmente, se ce ne fosse ancora bisogno, a dimostrare nel mio senso la provenienza di quelle conchiglie, e quindi l'origine e la natura del deposito che le contiene. Il primo fatto, osservato dal signor Sordelli, è questo, che le spire più interne di varî gastropodi le trovò *occupate da un' argilla piuttosto fina, cinereo-azzurrognola quando è asciutta, identica a quella dei nostri depositi pliocenici* (5). Il secondo è, che alcuni cunicoli di un ciottolo perforato dai litofagi erano *ripieni di una sabbia gialla che somiglia affatto alle notissime sabbie gialle subappennine.* Quel riempimento sabbioso era sparso di molte specie di piccoli testacei (6). Il terzo fatto finalmente è quello di un ciottolo di marna argillosa durissima, che era tutta un impasto di fossili (7). Pel sig. Sordelli quei fossili e quei ciottoli portano con sè le fedi più autentiche della loro provenienza dai depositi pliocenici, già emersi dal mare, dai quali furono divelti e trasportati a Cassina Rizzardi dal solito torrente. Io ringrazio invece il sig. Sordelli d'aver dato, direi, con queste finissime osservazioni, l'ultima pennellata al quadro della nostra spiaggia morenico-marina. Non è egli un fatto che, dipartendoci da una spiaggia ciottolosa o ghiajosa, internandoci in mare, si trovano dapprima ghiaje più minute, poi sabbie grosse, fine e finissime, poi, sempre a maggior profondità, fanghi o argille? Non è un fatto che le conchiglie marine viventi nelle sabbie che succedono alla spiaggia ghiajosa o ciottolosa, o nei fanghi argillosi,

(1) Vezian nel suo *Prodromo di geologia*, parlando dei depositi littorali dice: « quant aux animaux dont ces couches contiennent les débris, ils sont touts côtiers, et ces débris, presque toujours roulés ou réduits en fragments, offrent les traces d'une usure prolongée ». Ed Heer (*Le Monde primitif de la Suisse*, pag. 528) così parla dei fossili del *grès coquiller*, della molassa svizzera: « le grès coquiller nous a conservé la faune de Côtes basses: le pêle-mêle de coquilles, souvent brisées et roulées qui gisent dans toutes les positions, les dents de squales et les morceaux de bois qui s'y trouvent mêlés, indiquent un dépôt côtier ». (Questa *nota* è tolta per intero alle *Osservazioni*, ecc. del prof. Mercalli).

(2) L'altezza della marea è in ragione diretta dell'estensione e della massa del liquido sollevato dall'attrazione della luna. Il massimo d'altezza si verifica contro l'ostacolo che si oppone alla corrente di marea, e che era, nel caso nostro, rappresentato appunto dalle Alpi e dalle Prealpi.

(3) L'area occupata dall'alta marea è tanto maggiore quanto più debole è il pendio della spiaggia.

(4) Come prova sicura di una spiaggia posta all'asciutto da recente sollevamento, il sig. Geikie cita appunto la presenza di conchiglie appartenenti a quelle specie stesse che ogni marea suole abbandonare sul lido: « *the shells belong to the common kinds which are washed up by every tide upon the sands* » (Geikie, *Geology*, § 197).

(5) *La Fauna*, ecc., pag. 19.

(6) *Nuove osservazioni*, ecc., pag. 13.

(7) *Ib.*, pag. 14.

che, ancor più internamente, succedono alle sabbie, sono divelte dal fondo, scopate e sbattute sulla spiaggia, quando sono morte? Non è un fatto troppo volgare anche questo, che esse conchiglie, rimaste vuote per la putrefazione delle parti molli, si riempiono di fango o di sabbia secondo che il fondo è fangoso o sabbioso? Or bene, se venga una tempesta la quale quelle spoglie inerti butti sulla spiaggia, è naturale che se ne trovino di quelle il cui riempimento ci offre un saggio del fondo primitivo su cui vissero, e da cui furono divelte. La cosa si applichi ai cunicoli pieni di sabbia dei ciottoli perforati dai litofagi. Quando i signori Desor e Martins sostennero che le conchiglie di Cassina Rizzardi vissero in sito, non intesero la cosa così materialmente, da volere che fossero proprio nate, cresciute, morte e fossilizzate in seno alla morena marina dove ora si trovano: vollero unicamente escludere l'idea che provenissero dall'erosione, dal rimestamento di un terreno preesistente. Quanti banchi di conchiglie fossili, quante lumachelle si trovano nei terreni di tutte le epoche, formati di valve dispajate, di tritume di conchiglie di ogni stampo, per l'accumulazione di spoglie di testacei scopate dall'onde, e accumulate in un punto o nell'altro! Di tali ammassi sono sparsi dovunque i littorali. A nessuno mai venne in mente di dire nè che quelle conchiglie fossero veramente in sito, nè che provenissero da terreni preesistenti. Le conchiglie di Cassina Rizzardi sono, come dissi io, come disse lo Spreafico, e come era già certamente nelle idee dei signori Desor e Martins, spazzate dai fondi sabbiosi e fangosi più interni e profondi, e buttate sulla spiaggia. Ecco tutto. Quei gusci possono essere venuti molti chilometri distante dal luogo dove ora si trovano. Ma per forza dell'onde, che le più grosse dovettero rotolare e spingere a più riprese, corrodendole, spezzandole e riducendole in frantumi, mentre le più piccole, se abbastanza vicine alla spiaggia, ve le buttarono d'un sol colpo, dove rimasero protette da ulteriore erosione tra sasso e sasso, sotto i depositi che si andavan sovrapponendo. Non l'ha detto già lui il sig. Sordelli che la fauna di Cassina Rizzardi *è una fauna essenzialmente littorale*? (1). Ripeto anche qui, che, chi ha visto una volta i lidi di Venezia, di Rimini, di cento luoghi diversi, non troverà nulla di più naturale di questa miscela di conchiglie intatte in mezzo alle rotte e ad un tritume di testacei d'ogni stampo; mentre sfido un'altra volta i geologi ad indicarmi un'alluvione torrenziale, cioè di ciottoli piccoli, grossi e grossissimi, la quale presenti, non dirò già la descritta miscela, ma una sola conchiglia o intatta, o rotta, o rotolata (2).

Mi si opporrà forse che quelle sabbie, quelle argille, che coprivano il fondo più inoltrato verso mare, e da cui le onde spazzavano le conchiglie, buttandole sulla spiaggia, sono, al postutto, un'ipotesi. Se è ipotesi il supporre ciò che, in date condizioni, è necessario, e ciò che in tali condizioni si verifica su tutti i littorali del mondo, dove alle spiagge ghiajose o ciottolose, succedono, inoltrandoci; oserò dire a' miei avversarî: scavate sotto la morena di Cassina Rizzardi, scavate verso sud, cioè verso l'antico mare, troverete, a debita profondità, le sabbie, e più sotto le argille, costituenti il fondo primitivo del mare, coperte dalla morena, e respinte sempre più verso l'alto mare, mano mano che la morena si andava elevando,

(1) *La Fauna*, ecc., pag. 25.

(2) Il prof. Mercalli, che non ha certamente nulla da invidiare al signor Sordelli per finezza di osservazioni, ne fa una appunto sulle conchiglie spezzate o corrose che vale da sola a rendere inammissibile la possibilità che il loro trasporto e logoramento sia avvenuto mai per mezzo di una corrente di terra; mentre dimostra, con tutto quel rigore di logica che possono vantare le scienze naturali, che le conchiglie stesse appartengono immediatamente ad un deposito marino, da cui non uscirono mai fino al giorno in cui capitarono nelle mani dei cercatori di fossili. Ecco l'osservazione del Mercalli colle sue stesse parole: « Se fra le conchiglie che vi presento, osservate attentamente quelle più rotte e corrose, non tarderete a rilevare, che i labbri stessi delle spezzature sono forati e mangiati da animaletti marini, e che fra i pezzi più corrosi ve ne sono di quelli che portano sulla loro superficie intatte le gallerie da essi scavate. Ciò dimostra che queste conchiglie, già rotte e corrose, come voi le avete sotto gli occhi, dovevano trovarsi in mare: dunque le spezzature e le corrosioni di tali conchiglie non ponno essere effetto dell'azione meccanica subita in un torrente, dopo che furono levate da un deposito marino ».

e la spiaggia morenica avanzando. Ma che bisogno c'è di scavare? Le argille e le sabbie o pure, o già miste a detrito glaciale, già le vedeste a Balerna, e le vedete dovunque entro i dominii dell'anfiteatro morenico, dove il loro livello fu raggiunto o da scavi o da naturali erosioni. Vedremo più tardi del resto come tali argille e tali sabbie formino la base delle morene di Cassina Rizzardi e delle altre località fossilifere da numerarsi. Spero finalmente che la descrizione dell'anfiteatro morenico marino della Dora Baltea metterà sotto gli occhi, per dir così, in azione, di chi non sia schiavo interamente di idee preconcette, il processo della graduale elevazione del fondo marino, mediante il detrito glaciale, e della sua graduale trasformazione in anfiteatro morenico, sottomarino dapprima, littorale dappoi, e in ultimo terrestre ossia intercontinentale.

Dopo quanto si è dimostrato deve sembrar strano che il sig. Sordelli ci abbia messo tanto interesse, diremo anche tanta passione, a negare al deposito di Cassina Rizzardi la natura di una morena marina. Dico così, perchè non mi pare che si preoccupasse poi tanto della necessità di dimostrare la sua ipotesi di una alluvione torrenziale, messa fuori tanto per dire; per cui non c'è propriamente una cosa che il Sordelli voglia, ma una che non vuole; ed è questa, che il terreno glaciale di Cassina Rizzardi sia terreno glaciale, dovendosi ammettere con questo che la fauna marina, diseppellita da quel terreno, è contemporanea del terreno stesso, è insomma una *fauna glaciale*. Come mai una fauna che attesta un clima assai mite, un clima quasi subtropicale, può appartenere all'antico mare glaciale che si distendeva fino ai piedi delle Alpi, allo sbocco degli alpini ghiacciai? Sembra un'objezione, e non è che un problema da svolgere. Non vi sono objezioni ai fatti dimostrati. Supponete (parlo agli avversarii) che io, non trovando modo di conciliare il fatto per me evidente della esistenza di una morena glaciale, coll'altro dell'esistenza in esso terreno di reliquie di una fauna marina temperata o calda, ragionassi così: « Voi dite che la fauna di Cassina Rizzardi è una fauna temperata o subtropicale; ma il terreno di Cassina Rizzardi è una morena formata da un ghiacciajo: dunque la fauna che esso contiene non può essere temperata e molto meno subtropicale ». Voi allarghereste tanto di bocca per meraviglia gridandomi che molte specie di quelle conchiglie vivono ancora nell'Adriatico, nel Mediterraneo, nell'Atlantico, e fin sulle coste della Spagna, del Marocco, di Tunisi, di Madera, delle Canarie; che l'indole temperata o calda di quella fauna *non è che un fatto*. Eppure, invertendo i termini, quel modo di ragionare è il vostro. Voi dite infatti, riducendo il ragionar vostro a sillogismo, così: « Tu dici che il terreno di Cassina Rizzardi è terreno glaciale; ma la fauna in esso contenuta è temperata o calda: dunque il terreno che contiene questa fauna non è terreno glaciale ». Lasciate adunque che spalanchi anch'io la bocca per meraviglia, gridando: che il deposito di Cassina Rizzardi sia terreno glaciale *non è che un fatto*. Credete che sia più facile per voi il distinguere mare da terra, che per un geologo il distinguere una morena marina da un terreno qualunque? Se non è una morena marina littorale il deposito di Cassina Rizzardi, che cosa sarà? Esso è un cumulo composto di una miscela di 6 elementi, ciascuno dei quali distintissimo, caratterizzatissimo e caratteristicissimo: 1.° Ciottoli striati; 2.° ciottoli di forme strettamente glaciali; 3.° massi angolosi talvolta grossissimi; 4.° ciottoli discoidali; 5.° ciottoli traforati dai litofagi; 6.° conchiglie conservate, o spezzate e tritume di conchiglie. Che cosa sarà, ripeto, codesto deposito? Di fiume no, perchè le alluvioni non contengono *nemmeno uno* (!) dei sei elementi di cui si compone. Di lago no, perchè contiene, oltre agli elementi glaciali, conchiglie marine e ciottoli traforati dai litofagi. Glaciale semplicemente no, perchè contiene ciottoli discoidali, conchiglie marine, ciottoli traforati dai litofagi. Semplicemente marino no, perchè contiene ciottoli striati e tutti gli elementi glaciali. Non resta, per mia fè che un supposto, e questo concilia tutto, risponde a tutto, anzi vuole necessariamente tutto. È il supposto di una morena littorale, la quale deve necessariamente risultare composta di ciottoli striati o di

forme glaciali, di massi angolosi e grossi, di ciottoli discoidali, o traforati da litofagi, e di conchiglie conservate o spezzate. Con tutti i gradi di conservazione possibili, da quelle che conservano perfetti i più fini ornamenti ed i nativi colori, fino a quelle che sono ridotte ad un indistinto tritume.

Invece di ostinarsi a negare ciò che è evidente, tormentandosi l'ingegno a metter fuori tante corbellerie, non era meglio darsi a cercare le ragioni in cui si possono e si devono conciliare due fatti, apparentemente contradditorii, ma ugualmente certi, di una fauna temperata e di un terreno glaciale coesistenti nello stesso luogo? Questo tentativo di conciliazione io l'ho già fatto da anni e, parmi, con non spregievole riuscita (1). Ma è ben ingenuo chi scrive dei libri perchè siano letti dagli scienziati. Bisognerà dunque rifarlo, consacrando alla questione del clima glaciale un capitolo a sè, quando avrò adunato sotto gli occhi del lettore tutti gli elementi che ci pongono in grado di svolgere una tesi altrettanto nuova quanto difficile, nel miglior modo possibile.

Non lascierò intanto l'occasione per lamentare una tendenza fatale che si è manifestata in questi ultimi tempi nel regno della scienza geologica, in seguito ai grandi progressi fatti dalla paleontologia, e ai grandi servigi da essa resi alla geologia. Parlo della tendenza a sostituire, come base d'ogni studio geologico, la paleontologia alla geologia. La paleontologia non si ricorda quasi più di essere ancella della geologia, e vuole, nuova Agar, sostituirsi alla padrona. Una morena non cesserà no di essere una morena, perchè vi si trovino, supponiamo, felci arboree, palme tropicali od uova di struzzo. Una morena è morena, perchè non può essere altra cosa, nè aspetta, per essere morena, che vi siano dentro marmotte o denti d'orso bianco, come non aspetta l'acqua, per esser acqua, d'aver dentro i pesci.

4. Alcune osservazioni sui ghiacciai circumpolari ad illustrazione del precedente paragrafo.

Questo paragrafo serve di appendice al precedente essendo destinato a porgere al lettore alcune recenti nozioni sui ghiacciai polari, che serviranno indubbiamente di conferma e di dilucidazione a quanto si è esposto. Devono servire in pari tempo come di istradamento ad intendere ed a degnamente apprezzare i

(1) L'ottimo amico Desor volle certamente alludere a me, quando scrisse che *on a tort, à notre avis, de parler d'une mer glaciale au pied des Alpes* (*Controverse glaciale*). Più espressamente a voce mi rimproverò d'aver usato quelle parole, che costituiscono nientemeno che il titolo della mia Memoria la quale destò tanta guerra, dicendomi che la grande difficoltà che provano i geologi ad ammettere le mie idee proveniva dal credere ch'io volessi far loro ingojare quella della esistenza di una fauna temperata nelle condizioni climatologiche attuali del mare polare, detto anche glaciale. No, codesti equivoci non sono permessi che all'ignoranza ed alla mala fede. Quel mare che flagellava sulla fine del periodo pliocenico il piede delle Alpi e delle Prealpi, lo dissi *glaciale*, perchè dell'*epoca glaciale*; *glaciale*, perchè invaso dagli antichi ghiacciai. Del resto io non ho aspettato nemmeno le scoperte di *Cassina Rizzardi* per accorgermi e dichiarare che tutt'altro che glaciale nel senso filologico, cioè tutt'altro che freddo o gelido era il clima dell'epoca glaciale. Anzi per mostrare a' miei avversari che, se hanno letto i miei libri (e dovevano leggerli almeno prima di combattermi), non potevano commettere l'equivoco accennato, riporterò semplicemente un brano del mio *Corso di geologia* (Vol. II, § 1469), pubblicato fino dal 1853, che suona così:

« Quale fu la causa di tanto sviluppo di un agente (il ghiaccio) forse nuovo per la terra? I geologi tendono in genere a trovarla in un abbassamento straordinario della temperatura, di cui è poi difficile rendersi ragione. Le foreste che cingono fitte e lussureggianti gli stessi ghiacciai, prestando materia agli abbondanti depositi lignitici di Leffe e di Utznach; gli elefanti e i rinoceronti, i quali coi cervi e coi buoi vengono ad abbeverarsi ai laghi glaciali; la straordinaria ricchezza della fauna e della flora glaciale al monte e al piano, in tutte le regioni d'Europa, in tutte le regioni del globo: tutti questi fatti, dico, e cento altri che si potrebbero individuare, non ci permettono di credere ad un clima glaciale nel senso immediato della parola. Confesso anche che, quanto più medito sui fatti di cui si va ogni giorno più arricchendo la geologia dei terreni quaternari, tanto meno riesco a far tacere il sospetto, che il clima glaciale, il quale tenne dietro al pliocenico, sia stato ancora, come il clima di tutte le epoche precedenti, più mite dell'attuale. Non si gridi all'assurdo, ma si rifletta che i fattori de' ghiacciai

fatti ancor più importanti e complessi che ci rimangono da esporre. La materia è presa quasi interamente dagli scritti, e più dalle verbali communicazioni del sig. Amund Helland di Cristiania, il quale da più anni si è occupato principalmente dello studio dei ghiacciai attuali della Groenlandia, e delle antiche formazioni glaciali della Norvegia (1).

Preme anzitutto di sancire che i ghiacciai, aventi la forma dei ghiacciai alpini nelle regioni polari, quando cioè non siano semplici vedrette o campi di neve o di ghiaccio, piccoli o grandi, ma ghiacciai incanalati in una valle relativamente lunga e stretta, benchè si avanzino in mare, e ne subiscano l'azione erosiva come abbiam detto nel paragrafo precedente, presentano ugualmente sulla fronte quella forma arcuata od ogivale, che caratterizza nelle Alpi i grandi ghiacciai, e dà ragione appunto della forma ad anfiteatro, che è propria delle morene frontali, antiche e moderne. Attenendoci unicamente a certe descrizioni o a certi disegni pubblicati in opere meno recenti, si potrebbe essere indotti a credere che la forma della fronte di un ghiacciajo che sbocca in mare, fosse quella approssimativamente di una retta sulla quale si disegna una parete verticale. Così, per esempio, si potrebbe credere, osservando la topografia del ghiacciajo in fondo alla baja della Maddalena (Spitzberg) nell'*Atlante* dei *Viaggi in Scandinavia*, ecc., descritto dal signor Ch. Martins, e inferirne che i nostri grandi ghiacciai del lago di Como e della Dora Baltea, sboccando in mare, non potessero alle rispettive morene frontali dar forma di anfiteatro. Il ghiacciajo della baja della Maddalena, il quale non misura poco più di un chilometro e mezzo tanto in lunghezza quanto in larghezza (precisamente 1840 metri in un senso e 1580 nell'altro), è già una miserabile vedretta, in confronto dei ghiacciai alpini des Bois, d'Aletsch, dell' Unter-Aar, i quali corrono da 20 a 28 chilometri (2). Anche nelle Alpi le semplici vedrette presentano sempre una fronte che si approssima alla retta. Soltanto ne' ghiacciai molto potenti e profondamente incassati entro una valle si verifica sulla linea mediana un grado di maggior velocità, sufficiente perchè si determinino nettamente gli ogivi (3). Un certo grado considerevole di velocità, e quindi un considerevole sviluppo, richiesti perchè la fronte di un ghiacciajo prenda la forma di un arco o di un ogivo, è tanto più necessaria ai ghiacciai marini che ai terrestri, mentre l'azione erosiva che tende a rintuzzare e a respingere la fronte d'un ghiacciajo è tanto maggiore per quelli che per questi, e non può essere elisa che mediante una velocità maggiore.

Il ghiacciajo in fondo al fiord di Kangerdlugssuak in Groenlandia (71° 15° di lat. nord) non ha all'incirca che la lunghezza di 8 chilom. sopra una larghezza

sono due: il freddo e l'umidità. Un ghiacciajo che riceva ogni anno una data quota di nevi, si sviluppa tanto più, quanto più fredda corre la stagione. Ma è anche vero che, rimanendo fissa la temperatura annuale, e fors'anche facendosi di qualche grado più mite, il ghiacciajo si svilupperà tanto più, quanto più è la massa dei vapori che si condensano e delle nevi che cadono in conseguenza. Una serie di anni piovosi sarebbe quanto v' ha di meglio per promuovere l'avanzamento dei ghiacciai; ma sarebbe anche quanto v'ha di meglio per procurarci una serie di inverni più miti ».

(1) Il signor Helland, per mia ed, oso dire, per sventura della scienza, ha dettato le sue memorie in lingua patria. Per buona sorte però, reduce appena da un disastroso viaggio nella regione dei *fiords* della Groenlandia, venne nello scorso autunno (1876) in Lombardia precisamente allo scopo di uno studio comparativo tra i fenomeni riferibili all'epoca glaciale nell'alta Italia e quelli che si riferiscono ai ghiacciai attuali della Groenlandia ed agli antichi della Norvegia.

In questa occasione mi fu gentile di parecchie visite, delle quali approfittai per avere dalla stessa sua bocca quelle notizie che più mi interessavano in ordine alle questioni di cui ci stiamo occupando. Godo di questa occasione per tributargli in pubblico i più vivi ringraziamenti, nella speranza di veder presto pubblicati i risultati de' suoi studî sugli anfiteatri morenici dell'alta Italia, i quali, da quanto mi parve di intendere da lui stesso, concordano in massima colle mie vedute.

Ora che sto rivedendo le bozze mi vien sott'occhio lo scritto già citato del signor Helland, *Ueber die Gletscher Nordgröndlands*, e l'altro *On the Fjords, Lakes and Cirques in Norway and Greenland*, i quali riassumono molto chiaramente quanto si contiene nelle memorie scritte in norvegio. Sono lieto di potermene ancora approfittare per qualche interpolazione.

(2) Martins, *Op. cit.*, T. I, pag. 141.

(3) *Vedi sopra* a pag. 27.

media di 5. Eppure la figura 41 ne presenta la fronte di forma perfettamente ogivale. Si pensi se non deve conformarsi ad ogivo la fronte di certi grandi ghiacciai della Groenlandia, a forma alpina, che discendono dalle grandi valli nei *fiords*, che ne sono la continuazione, mentre la loro velocità, proporzionale all'altezza del

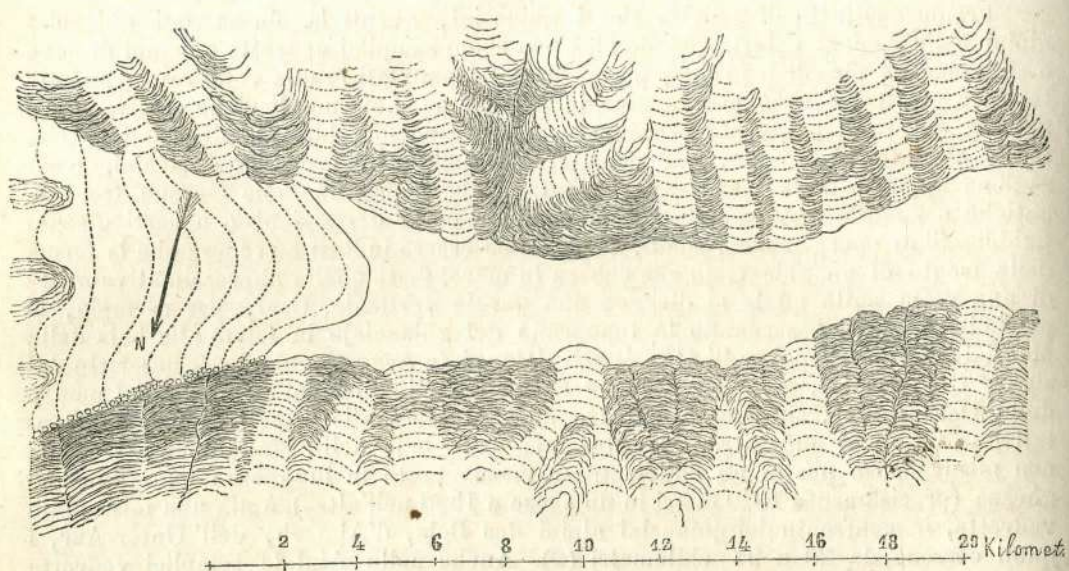



Fig. 41. — Ghiacciajo in fondo al fiord di Kangerdlugssuak (1).

ghiaccio, dev'essere enorme, e grande la differenza di essa velocità che si verifica per la regione mediana in confronto dei lati. Il ghiacciajo che sbocca nel fiord di Torsukatak e quello che discende nel fiord della baja di Giacomo (Jakobshavn) sono tali, che i più grandi ghiacciai alpini non sono al paragone che piccole vedrette. Il primo emerge dal mare 105 metri; l'altro 280; il che darebbe (nel caso che non toccassero il fondo del mare) un'altezza totale di 735 metri pel primo, e di 1960 pel secondo (2). La velocità massima del ghiacciajo dell'Aar (uno dei più grandi della Svizzera) si trovò in media di circa 21 centimetri soltanto in 24 ore. Il ghiacciajo di Torsukatak presentò invece al signor Helland la meravigliosa velocità di 10 metri e 16 centimetri in 24 ore, e di 19 metri e 54 centimetri quello della baja di Giacomo. Se guardiamo la differenza che si verifica nella velocità dei lati in confronto della regione mediana, troviamo che il ghiacciajo di Torsukatak si moveva colla velocità di $3^{m}75$ ogni 24 ore alla distanza di 210 metri dalle sponde del fiord; raggiungeva i $10^{m}16$ alla distanza di metri 4939: e quello della baja di Giacomo, movendosi colla velocità di $14^{m}70$ a 400 metri dalla sponda, raggiungeva i $19^{m}54$ alla distanza di metri 1059 (3). Ognuno intende pertanto quanto dovesse avanzarsi entro mare la parte mediana in confronto delle laterali, e come la fronte di questi due ghiacciai debba presentare una forma ogivale arditissima, la quale sarà necessariamente assunta dalle rispettive morene frontali, che si formano necessariamente sul fondo del mare.

I nostri antichi ghiacciai del lago di Como, del lago Maggiore, della Dora Baltea erano indubbiamente più poderosi dei due citati, mentre troviamo che si

(1) Questa figura è tolta dalla memoria di Helland = *Om de Isfyldte Fjorde og de Glaciale Dannelser i Nordgrönland.*

(2) Si calcola, come ho già detto, che la porzione emergente non sia che $^{1}/_{7}$ del totale.

(3) Tutti questi dati sono tratti dalla citata memoria di Helland.

elevavano a 600 e 800 e fino a 1000 metri sopra il livello attuale delle valli e dei laghi rispettivi. Maggiori dovevano essere pertanto le velocità, e le differenze di velocità, per cui le loro morene frontali, benchè fondate in mare, dovevano disegnare un arco od un ogivo, cioè formare precisamente questi anfiteatri che si elevano difatti allo sbocco delle nostre zone di valli e dei nostri laghi.

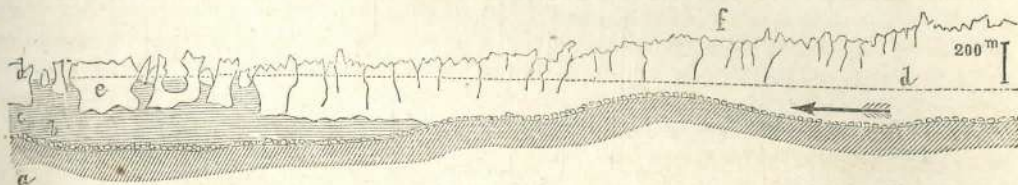



Fig. 42. — Profilo di un ghiacciajo che sbocca in un *fiord* profondo.

a) Fondo nativo del fiord. — *b*) Strato di detrito glaciale sul fondo del mare. — *c*) Mare. — *d*) Livello del mare. — *e*) Ghiacci galleggianti (*Icebergs*). — *f*) Ghiacciajo proveniente da terra.

La figura 42, copiata dalla memoria citata, rappresenta un ghiacciajo molto potente, che si insinua da terra entro un profondo fiord. Esso non può mettersi a galla, nè staccarsi dal fondo finchè la profondità del mare non sia di 6 volte l'altezza della porzione emergente. Perciò lo vediamo per lungo tratto respingere il mare ed aderire al fondo del *fiord*. Ma il mare facendosi più profondo e il ghiacciajo più sottile, questo si stacca dal fondo, e si mantiene a galla dell'acqua. È allora che il ghiacciajo si spezza e dà origine ai ghiacci galleggianti che fuggono in balìa delle correnti marine; è allora che il mare si insinua profondamente sotto il ghiacciajo, insinuandosi con esso gli animali marini; è allora che il detrito morenico cade sul fondo, dove può accumularsi, formando la morena di fondo, od essere coi corpi marini che vi stanziano, secondo la maggiore o minore profondità, smosso, distribuito, elaborato. Quante volte queste condizioni si saranno verificate pei nostri antichi ghiacciai! Vedremo essere il caso principalmente del ghiacciajo della Dora Baltea nel suo primo periodo di avanzamento nell'antico mare subalpino.

Questo dell'insinuarsi del mare sotto ai ghiacciai è uno dei punti capitali per la teorica glaciale, e specialmente per l'interpretazione dei fatti relativi ai nostri antichi anfiteatri morenici. Anche nel caso che il ghiacciajo non trovi una profondità sufficiente per galleggiare, vi sarà sempre uno spazio, cioè una caverna, tra la sua superficie inferiore e il fondo del mare, prodotta e mantenuta libera mediante lo scioglimento del ghiaccio immerso in un'acqua che si mantiene sopra zero, e può aver anche, specialmente d'estate, una temperatura abbastanza elevata (1). Se il torrente, relativamente così piccolo, che sgorga da un ghiacciajo alpino, basta a praticarvi, per disgelo, e a mantenervi una *porta*, talora assai vasta, a cui mettono capo gallerie lunghe e vastissime; che non farà il mare, in cui il ghiacciajo è continuamente immerso quasi (relativamente parlando) in tepido bagno? Il signor Helland è d'avviso (si intenda principalmente pei ghiacciai che si reggono a galla) che il mare penetri sotto i grandi ghiacciai di Groenlandia decine di chilometri. « Ma c'è questo, mi diceva egli, che gli *icebergs* galleggianti, enormi, e fitti in numero stragrande sulla fronte dei grandi ghiacciai groenlandesi, obbli-

(1) È noto che il disgelo è rapido e potentissimo in estate anche sotto le latitudini più avanzate verso il polo, per cui nello stesso canale di Kennedy, fin oltre l'82° di latid. nord, la crosta della potenza di centinaja e forse migliaja di metri, composta di un conglomeramento di vere montagne di ghiaccio, è fatta a brani tutta quanta. Nei *fiords* della Groenlandia poi, non solo la ghiaccia, grossissima d'inverno, si spezza e frantuma, ma la superficie del mare rimane affatto libera d'estate. Il signor Ch. Martins trovò che la superficie del mare, durante l'estate, sulle coste dello Spitzberg si mantenne sempre superiore a zero, anzi potè stabilire una media di + 1°,34 nella baja della Maddalena a 79° 34′ di latit. nord, e di + 3°,5 a Bellsund a 77° 30′ di latit. nord.

gano le barche a tenersi in distanza, sicchè riesce impossibile ogni esperienza diretta in proposito. » Descrivendomi però, anzi delineandomi l'unito schizzo (fig. 43) di uno di quei grandi ghiacciai (quello della baja di Giacomo), notava come sulla sinistra di esso esista un seno di mare, coperto bensì di ghiaccio, ma non coperto dal ghiacciajo, anzi libero al suo fianco, come lo sono i laghi sui fianchi dei ghiacciai alpini, dove incrociano e sbarrano una valle laterale (1). Quel seno dista

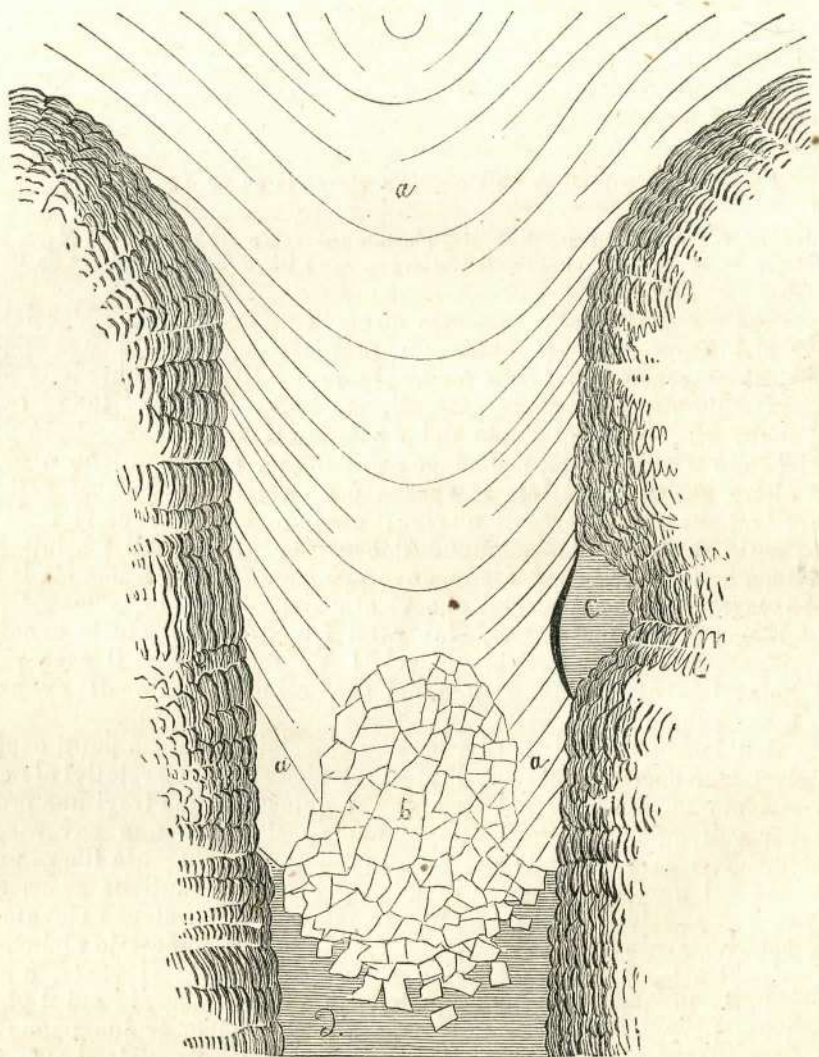



Fig. 43. — Fronte di un ghiacciajo in un *fiord* di Groenlandia durante l'estate.

a) Ghiaccio fisso. — *b*) Area sulla quale il ghiaccio si rompe producendo gli *icebergs*. — *c*) Baja laterale. — *d*) Mare.

dalla estremità terminale del ghiacciajo circa 3 chilometri, ed in esso le maree si producono colla stessa regolarità colla quale hanno luogo nel *fiord* dove il mare è affatto libero. Quella baja adunque è in libera comunicazione col mare, che liberamente si distende e ondeggia sotto al ghiacciajo. Tanto basta per attribuire

(1) Vedi sopra, a pag. 31, fig. 14.

a quel pezzo di mare sotto-glaciale un' estensione di parecchie miglia quadrate, le quali però, secondo l'Helland, non rappresenterebbero che una mediocre porzione del vero.

La figura 43 ci mostra anche il fatto interessantissimo notato da Helland, che, durante l'estate, nell'epoca cioè in cui si formano gli *icebergs*, il ghiacciajo rimane fisso sui lati, mentre si rompe nel mezzo, sfondandosi come una volta sur un'area ogivale molto vasta producendo una grande intaccatura sulla sua fronte. I frantumi colossali prodotti da quello sfondamento si liberano poi a poco a poco, l'uno dopo l'altro, allontanandosi dal ghiacciajo sotto forma di montagne natanti.

Non c'è nulla che ci impedisca di credere che gli animali marini, o viaggiatori o stazionarî, possano insinuarsi e vivere in quel mare coperto da un cielo di cristallo. È noto come i Groenlandesi esercitano la pesca appunto calando i loro fili della lunghezza di 550 metri attraverso i crepacci che rompono la ghiaccia, la quale in certi seni forma sulla superficie del mare una crosta dello spessore fin di oltre 700 metri. Narra il signor Hayes come ai gridi di un tricheco (specie di gran foca) da lui preso nel canale di Kennedy vide a mille a mille nereggiare da sotto ghiaccio le teste di quei mostri marini che ad orde si celano sotto la ghiaccia. Fu sempre detto del resto che sotto gli artici ghiacci le balene hanno la cuna. A questo proposito torna molto oppertuno di accennare un fatto riferitomi dal signor Helland, il quale serve non solo a mostrare come le vicinanze dei ghiacciai polari siano abitabili ed abitate, ma anche a dare una lucidissima idea della formazione delle morene di fondo o sottomarine, e della loro graduale elevazione fino al punto di trasformarsi in morena-banco o morena di spiaggia, dove l'onda del mare può dar luogo a tutto quel gruppo di fenomeni che abbiamo osservati a Cassina Rizzardi e osserveremo ancor meglio altrove.

Il ghiacciajo che si spinge da terra nel Jökel fiord, si addentra in mare formando una doppia cascata. Ad una certa distanza vedesi la morena frontale che

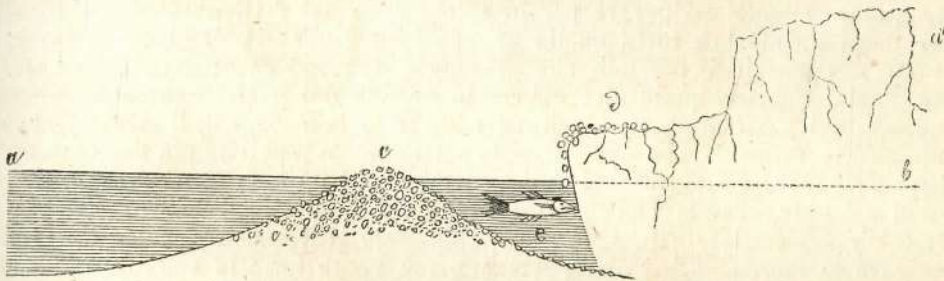



Fig. 44. — Profilo del ghiacciajo del Jökelfiord.

a, *b*. Livello del mare. — *c*. Morena emergente. — *d*, *d*.' Ghiacciajo. — *e*. Laguna.

distende la sua base sul fondo del mare, e già sporge da esso la sua cresta a guisa di montone o banco littorale (1). Il mare forma una laguna tra esso e il ghiacciajo. I pesci, trovando degli spazî depressi, che servono di comunicazione tra il mare e la laguna, vi si insinuano, e si appressano talmente alla parete di ghiaccio strapiombante, che talora rimangono uccisi sul colpo dai sassi, o dai pezzi di ghiaccio che precipitano dall'alto.

(1) Nota il signor Helland che c'è sempre uno spazio tra la morena e la fronte dei ghiacciai marini. Credo che ciò sia da attribuirsi al regresso che ha luogo per tutti i ghiacciai durante l'estate, stagione in cui si possono visitare e furono visitati finora. In questo caso il ghiacciajo, avanzandosi durante l'inverno, la sua fronte coinciderebbe colla linea più elevata della morena. Quando si pensa che i ghiacciai groenlandici presentano una velocità fin di 19 metri in 24 ore, si intende tosto quanto possa essere larga la zona nella quale si alternano le oscillazioni annuali del ghiacciajo entro mare, dovute al cambiamento delle stagioni. E quanto scrissero l'Helland, il Martins e tutti i viaggiatori alle regioni iperboree circa la formazione delle *montagne di ghiaccio* galleggianti, mostra che l'arretramento estivo dev'essere rapidissimo e molto considerevole.

Interessantissimo sopra tutto, per quello che si riferisce ai fatti di Cassina Rizzardi, ed a quelli che riporteremo in seguito, è lo schizzo (fig. 45) del ghiacciajo che mette capo al *fiord* di Pakitosk. Qui, come ognun vede, si tratta di un

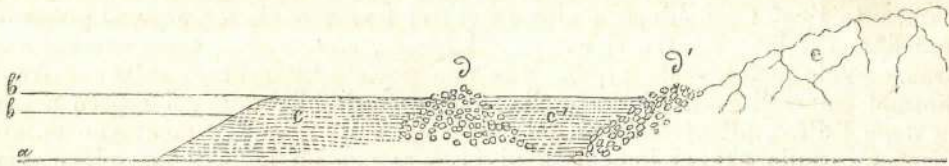



Fig. 45. — Profilo del ghiacciajo del *fiord* di Pakitosk.

a. — Fondo del mare — *b.* Livello della bassa marea. — *b.'* Livello dell'alta marea. — *c, c.'* Sabbie che rimangono scoperte nella bassa marea. — *d.* Morena antica. — *d.'* Morena attuale. — *e.* Ghiacciajo.

pretto ghiacciajo littorale, il quale al presente termina sulla spiaggia con una curva di pendio regolare come i ghiacciai alpini. Ma l'apparato glaciale che sta verso mare, mostra che il ghiacciajo ebbe una fase di maggiore avanzamento ed un lungo periodo di sosta in cui trovossi nelle condizioni ordinarie dei ghiacciai marini. Questo apparato consiste in un'antica morena *d* a base sottomarina e a cresta emergente, poi in una morena moderna, anzi attuale *d,'* a base sottomarina e a cresta emergente che forma la vera spiaggia. Le due morene sono precedute ciascuna verso mare da una specie di altipiano, ossia da un basso fondo di sabbia. Durante la bassa marea, non solo le creste delle morene, ma il basso fondo, rimangono all'asciutto. L'alta marea invece inonda il basso fondo sabbioso, rimanendo soltanto fuor d'acqua la porzione superiore delle morene. Qui abbiamo tutto quanto si può desiderare per la spiegazione dei fatti di Cassina Rizzardi, e per darci un'idea di tutta quella associazione e miscela di elementi diversi, e di tutte le transizioni possibili che possono e debbono caratterizzare una formazione glaciale-marina quale ci è offerta in grande dai nostri anfiteatri. Mentre il ghiacciajo del *fiord* di Pakitosk stava edificando la morena *d,* il mare, demolendo la morena in formazione, e specialmente sottraendole il detrito più fine, fabbricava l'altipiano sabbioso *c.* Intanto la morena *d,* che si andava innalzando, faceva le veci di spiaggia, dove la virtù erosiva dell'onde poteva liberamente esercitarsi sui ciottoli e renderli discoidali. Quando il ghiacciajo ritirossi, e si mise all'opera di fabbricare la morena *d,'* il mare, portando più verso terra la sua azione, demoliva la nuova spiaggia in formazione, edificando l'altipiano *c,'* che sta tra le due morene. Anche in oggi, durante l'alta marea, l'azione dell'onde si esercita tanto sui bassi fondi sabbiosi, quanto sulle morene, continuando quel lavoro, per cui, come alla base dei nostri anfiteatri, gli elementi glaciali (ciottoli striati e massi) si associano, con moltiforme miscela, ai ciottoli discoidali, ai ciottoli traforati dai litofagi, e ai testacei marini o viventi sul fondo, o buttati sul lido, o in mille guise rosi e frantumati.

Abbiamo detto nel paragrafo precedente che le morene possono e debbono formarsi sul fondo marino, e che non fa bisogno che emergano, e nemmeno che si alzino fin presso alla superficie del mare, per sentire quella forza erosiva e distributiva delle onde, che riesce sensibile anche a considerevoli profondità. È fenomeno ordinario questo, mi riferiva il signor Helland, di trovare i *fiords* profondissimi incrociati da banchi sottomarini, o bassi fondi molto elevati, i quali non sono che morene frontali e anfiteatri morenici sottomarini, abbandonati dai ghiacciai per quello stesso fenomeno di regresso, per cui furono abbandonati le morene frontali e gli anfiteatri morenici allo sbocco o in seno alle nostre valli alpine. Nel *Soynefiord* (?), citato come esempio di tale disposizione dal signor Helland, il *fiord* è profondo 661 fathoms (circa 1200 metri), mentre i banchi tra-

sversali si toccano ad una profondità di 30 a 100 fathoms (da 54 a 182 metri circa). Trattasi dunque di morene sottomarine che si elevano più di 1000 metri sul fondo del mare, cioè ad un' altezza pari ed anche maggiore di quella a cui si alzano i nostri anfiteatri sul fondo dei nostri laghi. La figura 46, eseguita sopra uno schizzo lasciatomi dal signor Helland, mostra i rapporti di questi banchi o

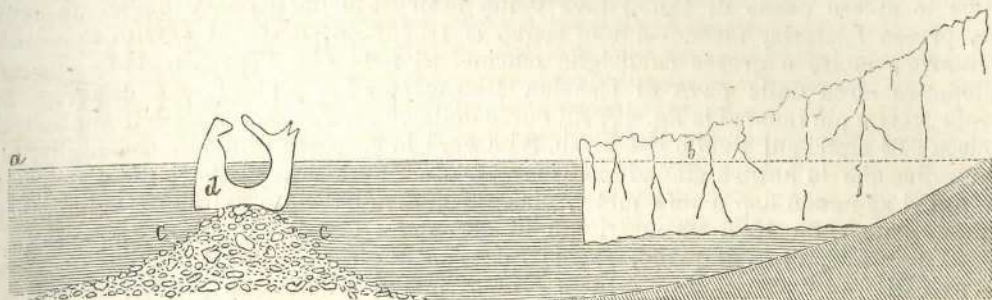



Fig. 46. — *Fiord* incrociato da una antica morena frontale sottomarina.

a. Mare. — *b*. Ghiacciajo. — *c*. Banco o antica morena frontale sottomarina. — *d*. *Iceberg* arenato sulla morena sottomarina.

morene sottomarine antiche col rispettivo ghiacciajo che occupa ancora il fondo del *fiord*. È su questi banchi morenici, perfetto ideale, come vedremo, di una grande porzione dell'anfiteatro d'Ivrea, che vanno facilmente a dar fondo i grossi *icebergs* (come si vede nella figura 46) i quali si staccano dalla fronte del ghiacciajo dove il mare è abbastanza profondo per renderli galleggianti. Ognuno vede come le morene sottomarine possono e debbono in tali condizioni, dopo e durante la loro formazione, sentire la moltiforme azione del mare, e dar luogo a quel misto di elementi glaciali e marini, che caratterizzano il deposito di Cassina Rizzardi e gran parte degli anfiteatri morenici dell'alta Italia.

5. — La natura glaciale-marina del deposito di Cassina Rizzardi è comune a tutto l'anfiteatro morenico del ramo di Como.

Ripigliando l'analisi dei fatti raccolti nell'anfiteatro morenico di Como, dobbiamo dire anzi tutto che i fatti di Cassina Rizzardi, ai quali abbiamo voluto di proposito esclusivamente arrestarci finora, sono tutt'altro che isolati. Il deposito di Cassina Rizzardi non è che una piccolissima porzione di una grande formazione glaciale-marina, la quale costituisce quasi per intero il grande anfiteatro corrispondente all'antico ghiacciajo che discendeva al mare per quella gola istessa che ora si chiama ramo occidentale del lago di Como. Ovunque si è aperta una cava di sabbia o di ghiaja o di ciottoli o alla base delle colline moreniche, o nei loro fianchi (almeno fino ad una certa altezza) o nei piani terrazzati che separano le cerchie moreniche, sempre, con modificazioni di poco o nessun conto, si sono presentati gli stessi fenomeni. E gli stessi fenomeni, cioè la stessa associazione di elementi glaciali e di elementi marini, si presenteranno dovunque una cava si apra in avvenire, perchè tutto quell'enorme ammasso di detrito, formante una triplice cerchia, che sta fra le colline rocciose di Como e gli altipiani che precedono la pianura, non è che una formazione glaciale, deposta in seno all'antico mare, salvo le creste ossia le porzioni più elevate delle colline moreniche, che, sottraendosi per l'acquistata elevazione alla furia del mare, coronarono l'edificio glaciale sottomarino con una specie di tetto di morena terrestre, su per giù come nei casi espressi dalle figure 44 e 45. Devesi principalmente al prof. Mercalli il merito della paziente perlustrazione delle diverse cave aperte nella formazione

glaciale-marina, i cui risultati furono riassunti nella sua recentissima memoria *Osservazioni geologiche sul terreno glaciale dei dintorni di Como*, letta alla *Società italiana di scienze naturali* nella seduta del 30 aprile 1876, che si troverà negli *Atti* della Società stessa (1).

La prima località fossilifera da aggiungersi a quella di Cassina Rizzardi sarebbe lo stesso paese di Fino, dove venni assicurato da persona degna di fede che, presso l'osteria, facendosi uno scavo si trovarono, miste al detrito morenico ordinario, molte e grosse conchiglie marine. Si nota che Fino non dista che un chilometro circa dalla cava di Cassina Rizzardi, ed è posto (come dimostra la tavola XIII e più innanzi la fig. 49) sul dorso della 2ª cerchia morenica dell'anfiteatro, a circa 312 metri sul livello del mare. Se è vera la scoperta di quelle conchiglie, bisogna dire che la natura glaciale-marina persiste fin verso la sommità delle morene, che qui si spingono fino a 364 metri, cioè 52 metri al disotto del punto culminante delle morene e da 15 a 20 metri più in alto della cava di Cassina Rizzardi (2).

Il terrazzo, ossia il piano, che si distende a' piè del rilievo dove è aperta la cava di Cassina Rizzardi, è tutto evidentemente dello stesso impasto di questa. È vero che è tutto coltivato; ma nel mezzo di esso, lungo la strada che conduce da Fino al paese di Cassina Rizzardi, quindi a circa mezzo chilometro dalla cava suddetta, ne è aperta un'altra, sopra un'area di forse 100 metri quadrati. Col solito detrito sono anche qui insieme confusi i ciottoli striati, i ciottoli traforati dai litofagi, e conchiglie marine. Osservai di più che la struttura del deposito è più caotica, più schiettamente morenica. Vi sono frequenti i grossi massi. Ci osservai, con Mercalli, Taramelli, Desor, ecc., sporgente dal piano della cava un masso granitico angoloso di oltre due metri di diametro. Si domanda al signor Sordelli se anche questo fu là portato da quel tale torrente che rispettava i tratti più fini delle conchiglie più delicate?

Le tre località citate si trovano tra la prima e la seconda cerchia morenica: anzi quella di Cassina Rizzardi alla base e quella di Fino verso la sommità della seconda cerchia. Quelle che seguono, si trovano invece tra la seconda cerchia e la terza. È inutile far notare che le località fossilifere si troveranno sempre più facilmente negli interstizî terrazzati tra una morena e l'altra, dove scorrono i torrenti erodendo, e dove il materiale è più sabbioso, perchè lavato dal mare, che sui fianchi e sulle sommità delle stesse morene, dove sono rare le erosioni, e il deposito più fangoso, ossia più schiettamente morenico.

Tra la seconda e la terza cerchia morenica adunque abbiamo dapprima la località di Monticello, a circa due chilometri ad ovest di Cassina Rizzardi. Ai piedi del piccolo rilievo, su cui è fabbricata la casa dei signori fratelli Arnaboldi, che ci giovarono assai in queste indagini, nel mezzo di un fondo coltivato a fianco della strada maestra, si trova una cava che mostra il solito terreno morenico con conchiglie marine. Massi erratici si trovano a centinaja lungo la via, e ne osservai una catasta preparata là sul posto per uso di costruzione. Si cavano dal suolo stesso che è sparso di conchiglie marine.

Da Monticello, seguendo il gran terrazzo morenico che fiancheggia la Lura, si arriva a Ronco, località fossilifera già celebre quanto quella di Cassina Rizzardi. Qui, sotto l'altipiano suddetto, precisamente nel villaggio di Ronco, nella corte di una casa colonica, di proprietà Arnaboldi, mediante una fossa scavata per estrarvi ciottoli e sabbia, abbiamo veduto ripetersi i fenomeni presentati dal deposito di Cassina Rizzardi. A due o tre metri di profondità, e dentro un caos

(1) Questa memoria è una tanto breve quanto splendida confutazione delle objezioni prodotte dal signor Sordelli e combattute nei precedenti paragrafi. Al momento che scrivo non ne ho ancor sott'occhio che le bozze di stampa.

(2) Il torrente Livescia, che scorre al piede della morena terrazzata dove è aperta la cava fossilifera di Cassina Rizzardi, è a 290 metri sul livello del mare, e a 312 metri l'osteria di Fino, presso la quale si scavarono le conchiglie marine. Si ricordi che il signor Sordelli ha detto espressamente che *il borgo di Fino è addossato ad una collina morenica* (Nuove osservazioni, pag. 6).

di ciottoli, di ghiaja, di sabbia fangosa, sono sparse conchiglie marine in gran numero, già determinate dal signor Sordelli. Quanto a me, rimarcai che il deposito mantiene, meglio che quello di Cassina Rizzardi, i caratteri morenici. I ciottoli sono più grossi, talora del diametro di 20 a 40 centimetri; i ciottoli striati poi abbondanti e conservatissimi (1). Il signor Mercalli vi rimarcò anche qualche ciottolo traforato dai litofagi. Anche qui le conchiglie marine sono sparse in quella ghiajuola, mista di ciottoli glaciali, come a Cassina Rizzardi, che risulta evidentemente dalla lavatura che ha sofferto dal mare il minore detrito morenico, sicchè, invece del solito fango morenico, abbiamo un materiale sabbioso, che perciò si estrae, e, purgato dai ciottoli, si impiega nelle costruzioni.

Altra cava interessantissima è quella di S. Anna ad est di Bulgaro Grasso sulla sinistra della Lura. Il terreno glaciale marino, con tutte le sue caratteristiche, vi è squarciato fino all'altezza di 10 a 12 metri sul livello del torrente. È curioso che le conchiglie marine, entro un detrito morenico grosso e affatto caotico, si trovano a preferenza nella porzione più elevata della morena di fondo. Il signor Mercalli vi rimarcò una grossa lente di argille, formatasi certamente pel riempimento di una depressione, ossia di un piccolo seno al riparo dalle onde nella morena littorale. Non mancano però in essa argilla i ciottoli striati, distinti naturalmente dalla conservazione del liscio e delle finissime striature straordinariamente perfetta.

Un'altra cava, sempre nello stesso terreno morenico, abbondante di conchiglie marine, fu scoperta dal signor Mercalli a settentrione di Bulgaro Grasso, lungo la stradicciuola che mette da questo paese a Caccivio.

Diverse cave finalmente sono aperte a Caccivio, sul rialzo della cerchia mediana. Io visitai coi signori Desor, Mercalli, Taramelli, Rosales, quella dietro la chiesa parrocchiale. Il parroco don G. Pedoja ci aveva preparato un bel mucchio di conchiglie marine. Va distinto singolarmente uno *Strombus coronatus* Defr., donato precedentemente al signor Mercalli, che misura non meno di un decimetro, sebbene manchi degli ultimi anfratti e di una parte della columella. Una poderosa catasta di grossi massi glaciali, estratti da quelle cave, era adunata presso la chiesa. Non ci rimaneva altro da fare che di verificare in seno alla cava la presenza dei ciottoli striati, e posso assicurare che li trovammo così abbondanti e ben conservati, che gli stessi signori Rütimeyer e Favre ne sarebbero rimasti contenti. È meritevole di nota che le cave di Caccivio sono aperte a 330 metri sul livello del mare nel fianco della 3ª cerchia morenica, la cui massima elevazione è di 368 metri, secondo le misure prese dal marchese Rosales.

Sono dunque già otto le località dove si trova sviscerato il terreno glaciale marino, costituente, fin quasi al vertice delle morene, l'anfiteatro glaciale del ramo di Como, e dove ciascuno può ripetere quelle osservazioni che si limitarono finora quasi unicamente alla cava di Cassina Rizzardi, alla quale non si compete altro diritto sulle altre, che quello della priorità. E le otto diverranno cento, se in cento luoghi si scaverà e si cercherà. Intanto bastino queste che, riassumendo, sono:

1. Fino. — Scavo eseguito presso l'osteria, a 312 metri sul livello del mare.
2. Cassina Rizzardi. — Vecchia cava, a circa 295 metri sul livello del mare.
3. Cassina Rizzardi. — Nuova cava, a circa 293 metri sul livello del mare.
4. Monticello. — A circa 315 metri sul livello del mare.
5. Ronco. — Cava approssimativamente allo stesso livello della precedente.

(1) Come si spiega che il signor Rütimeyer non abbia potuto osservare ciottoli striati a Ronco (*Ueber Pliocen und Eisperiode*, pag. 14) e il signor Favre non ne abbia visti a Cassina Rizzardi, salvo uno guasto e rotolato chi sa per quante miglia da un torrente? (*Note sur les terrains glaciaires* ecc.). Questi forastieri, se non conoscono i ciottoli striati, con tutto il resto dei caratteri per cui si distinguono a colpo d'occhio i ciottoli glaciali da quelli d'altra origine, perchè vengono a studiare il nostro terreno glaciale? E se li conoscono, con che occhi li cercano? Davvero che ci credono altrettanti imbecilli.

6. Bulgaro Grasso. — Cava di S. Anna ad est del paese, a circa 320 metri sul livello del mare.

7. Bulgaro Grasso. — Cava a nord del paese, approssimativamente al livello della precedente.

8. Caccivio. — Cave a 330 metri.

6. Catalogo dei fossili marini dell'epoca glaciale rinvenuti nelle morene di fondo alla base dell'anfiteatro dell'antico ghiacciajo del lago di Como.

Credo bene di soggiungere, a modo di nota, il catalogo delle specie rinvenute nelle morene delle diverse località numerate nei paragrafi precedenti, compilandolo sulle liste che ne fornirono i signori Spreafico e Sordelli. Le specie determinate appartengono tutte a diversi piani geologici, a cominciare da quegli strati miocenici che più presto sarebbero ascritti al pliocene. Il loro numero è già a quest'ora più che sufficiente a costituire una vera fauna glaciale-marina, che presta le più larghe e sicure basi a tutte le conclusioni che si volessero cavare dallo studio dei fossili dell'epoca glaciale. Credo che gli studî comparativi che si volessero istituire in proposito saranno facilitati dalla divisione delle 156 specie determinate in 3 gruppi come segue:

A. — Specie ancora viventi in numero di 76.

B. — Specie appartenenti al così detto pliocene superiore. (Sabbie gialle, sabbie o argille superiori), in numero di 34.

C. — Specie appartenenti ai diversi depositi ascritti in genere al pliocene, in numero di 46.

Le specie appartenenti al gruppo *A*, che sono tutte ancor viventi nell'Adriatico, nel Mediterraneo o nei mari vicini, si trovano per buona parte fossili nei così detti terreni pliostocenici, come, p. es., nel *crag di Norwich*, nei calcari conchiferi più recenti di Palermo ecc., e in terreni più antichi, principalmente nel così detto pliocene superiore.

Nel gruppo *B* ho messo quelle specie fossili soltanto che trovai nominate espressamente come appartenenti alla zona delle *sabbie gialle*, o in genere come appartenenti al così detto pliocene superiore, che io già fin dal 1867 ho dimostrato essere un equivalente del terreno *glaciale* (1). Non dubito però che molte, anzi quasi tutte le specie che per mancanza di sufficienti indicazioni sono costretto a comprendere nel gruppo *C*, appartengono anch'esse a questo così detto pliocene superiore, o almeno sono comuni tanto alle argille inferiori, propriamente dette plioceniche, quanto alle argille e sabbie superiori.

Il gruppo *C* pertanto comprende le specie indicate come appartenenti al pliocene propriamente detto, o pliocene inferiore, ovvero come plioceniche, ma senza precisa indicazione del piano che occupano.

A. — Specie ancora viventi.

NB. L'asterisco indica le specie che si trovano anche nel così detto pliocene superiore.

Murex craticulatus Gmel.
* » brandaris Linn.
» trunculus Linn.
» scalaris Brocc.
* Typhis fistulosus Brocc.
* Pisania striatula Bivona.
Natica Guillemini Payraud.
* Odontostomia conoidea Brocc.
* Eulima polita Linn.
* » subulata Brocc.
Cerithium vulgatum Brug.
* » scabrum Olivi.

(1) *Note ad un corso di geologia*, Milano 1867, Vol. II, §§ 562 e 563. — *Corso di geologia*, Milano, 1873, §§ 1252-1255. — *Il mare glaciale a' piedi delle Alpi.*

* Ranella reticularis Linn.
" marginata Brogt.
Cancellaria cancellata Lk.
* Pyrula rusticula Bast.
* Ficula geometra Borson.
* Fusus rostratus Olivi.
" corneus Linn.
Pollia d'Orbignyi Payraud.
Terebra fuscata Brocc.
Nassa limata Chemn.
" costulata Renieri.
" reticulata Linn.
* " semistriata Brocc.
" corniculum Olivi.
* " mutabilis Linn.
Ringicula buccinata Renieri.
* Cassis saburon Lk.
* Cassidaria echinophora Linn.
Columbella scripta Linn.
Conus pyrula Brocc.
* " ventricosus Bronn.
Pleurotoma turricula Brocc.
* " crispata Jan.
Mangelia incrassata Duj.
Defrancia clathrata M. d. Ser.
* " reticulata Renieri.
* Mitra ebenus Lk.
Marginella miliaria Linn.
* Cypraea europaea Montagu.
* Erato laevis Donov.
* Natica millepunctata Lk.
" Josephinia Risso.
* Triforis perversa Linn.
* Chenopus pes-pelicani Linn.
* Turritella communis Risso.
" subangulata Brocc.
Vermetus intortus Lk.
Scalaria pseudo-scalaris Brocc.
Solarium simplex Bronn.
" pseudo-perspectivum Brocc.
" moniliferum Bronn.
Rissoina decussata Mont.
Alvania zetlandica Mont.
* Dentalium aprinum Linn.
* " entalis Linn.
* Cylichna mamillata Phill.
* Spondylus gaederopus Linn.
* Arca Noae Linn.
* " lactea Linn.
* " diluvii Lk.
Pectunculus insubricus Brocc.
* Chama gryphoides Linn.
Cardium hians Brocc.
* " papillosum Poli.
* Leda commutata Phill.
Lucina spinifera Montagu.
Venus plicata Gmel.
* " verrucosa Linn.
* Cytherea chione Linn.
Petricola lithophaga Retzius
* Gastrochaena dubia Penn.
* Nodosaria raphanistrum Linn.
Ribulina calcar Gnel.
Polystomella crispa Linn.

B. — SPECIE APPARTENENTI AL COSI' DETTO PLIOCENE SUPERIORE.
(SABBIE GIALLE, SABBIE E ARGILLE SUPERIORI).

Murex Veranyi Paulucci.
" fusulus Bronn.
Triton tuberculiferum Bronn.
" affine Desh.
" doliare Brocc.
Fasciolaria fimbriata Brocc.
Cancellaria mitraeformis Brocc.
" serrata Bronn.
Fusus lamellosus Brocc.
Nassa musiva Brocc.
Columbella corrugata Brocc.
Conus antediluvianus Brocc.
" Brocchii Bronn.
Pleurotoma monilis Brocc.
" interrupta Brocc.
" obtusangula Brocc.
Raphitoma plicatella Jan.
Raphitoma hispidula Jan.
Mangelia harpula Brocc.
" angusta Jan.
Mitra striatula Brocc.
Cypraea sphaericulata Lk.
Turritella vermicularis Brocc.
Dentalium sexangulare Desh.
" fossile Desh.
Pecten cristatus Bronn.
Lima scabra Born.
Plicatula mytilina Phill.
Venus islandicoides Lk.
" senilis Brocc.
" scalaris Bronn.
Cytherea pedemontana Agas
Turbinolia duodecimcostata Goldf.
Flabellum cuneatum Goldf.

C. — Specie appartenenti al pliocene propriamente detto o ai diversi depositi ascritti al pliocene (1).

Strombus coronatus Defr.
Murex spiricosta Bronn.
" imbricatus Brocc.
Triton distortum Brocc.
" Doderleini D'Ancona.
Purpura tessellata Meneghini.
Fusus aduncus Bronn.
Buccinum polygonum Brocc.
Terebra acuminata Borson.
" pertusa Bast.
" Basteroti Nyst.
Nassa clathrata Born.
" serraticosta Bronn.
" obliquata Brocc.
Mangelia granaria Duj.
Cassis variabilis Bell. et Mich.
Columbella subulata Brocc.
Conus striatulus Brocc.
" Mercati Brocc.
" deperditus Brug.
Pleurotoma intorta Brocc.
" dimidiata Brocc.
" Bellardii Des Moul.
Mitra scrobiculata Brocc.
" obsoleta Brocc.
" striato-sulcata Bell. et Mich.
Cerithium bicinctum Brocc.
" doliolum Brocc.
Turritella plicata Bronn.
" aspera Sism.
" bicarinata Eichw.
" Strobeliana Cocconi.
Rissoina pusilla Brocc.
Neritina Meyeri Semper.
" Bronnii Jan.
Turbo tuberculatus M. d. Serres.
Dentalium Bouei Desh.
" sexangulare Lk.
" inaequale Bronn.
Lucina miocenica Michtt.
Cardita rudista Lk.
" scalaris Sow.
" Partschii Goldf.
Pecten scabrellus Lk.
Clavagella Brocchi Desh.
Jouannetia semicaudata Desm.

Le conclusioni immediate che derivano dallo studio comparativo delle 156 specie marine, appartenenti alle morene sottomarine o littorali dell' anfiteatro di Como, sono le seguenti:

1.° La fauna glaciale della Lombardia devesi considerare tra le faune fossili come recentissima, ossia come quella che precedette, con breve intermezzo, rappresentato da alcuni depositi pliostocenici, la fauna attuale. Abbiamo in tutto 76 specie ancora viventi contro 69 che si ritengono estinte;

2.° Il terreno glaciale della Lombardia si chiarisce preferibilmente come equivalente o contemporaneo al così detto pliocene superiore, nominatamente alle *sabbie gialle subapennine* che riposano immediatamente sulle *argille azzurre*. 109 specie sopra 156 sono difatti indicate espressamente come fossili nel così detto pliocene superiore. A queste 109 vanno sicuramente aggiunte molte di quelle che sono citate unicamente come plioceniche, di modo che la quasi totalità delle specie glaciali appartiene alla zona delle *sabbie gialle subapennine*. Così i risultati paleontologici concordano perfettamente coi dati stratigrafici;

3.° La fauna glaciale marina dell'anfiteatro morenico del lago di Como, è con molto decisa preferenza, una fauna littorale;

4.° La stessa fauna glaciale marina attesta decisamente un clima mite, ossia quello che propriamente si direbbe un *clima mediterraneo*. Quest'altra conclusione, quella, dirò così, che eccitò tanto scandalo nel regno dei geologi, è in perfetta conformità con quanto io dichiarai nel 1872, molto tempo prima che si parlasse

(1) In questa lista sono comprese tre specie (*Turritella aspera*, *Cardita Partschi* e *Turbo tuberculatus*) indicate soltanto come mioceniche, ma appartenenti probabilmente a depositi pliocenici, e che dovranno certamente trovarsi nel pliocene superiore e inferiore, come tutte le altre delle morene di Como, pel semplice fatto che vissero fino all'epoca glaciale, cioè posteriormente al periodo delle argille plioceniche azzurre, costituenti il vero pliocene.

di fossili marini nelle morene, quando scrissi che i fatti fino allora raccolti *non ci permettevano di credere ad un clima glaciale nel senso immediato della parola*, e manifestai chiaramente la mia convinzione, benchè la chiamassi per prudenza semplice sospetto, che *il clima glaciale, il quale tenne dietro al pliocenico, fosse stato ancora, come il clima di tutte le epoche precedenti, più mite dell'attuale* (1).

7. Argille e sabbie alla base dell' anfiteatro glaciale-marino del lago di Como.

In nessuna delle località numerate, e in nessun punto nemmeno delle maggiori depressioni intermoreniche, benchè solcate dai torrenti, si è riuscito finora a discendere al disotto di quel terreno prevalentemente morenico, descritto nei precedenti paragrafi. In nessun punto difatti, ch' io mi sappia, si discende al di sotto di 290 metri sul livello del mare, con che si è ben lungi certamente dall' arrivare alle radici delle morene. Il piano di Camerlata, circoscritto dalla prima cerchia morenica, si abbassa, è vero, fino a 278 metri; ma è tutto coperto di vegetazione, poi da uno strato piuttosto potente di torbe e di terreno paludoso recente, che mascherano affatto il terreno primitivo che costituiva il piano interno dell' anfiteatro morenico. Si poteva tuttavia presumere, in seguito ai fatti di Balerna, e a quelli raccolti dovunque tra il lago Maggiore e quello di Como, che il deposito quasi prettamente morenico messo a nudo dalle cave fossilifere descritte, sarebbe andato perdendo inferiormente assai di questo suo carattere, prevalendo invece l' indole dei depositi subacquei, e così saremmo passati alle sabbie sparse di ciottoli, e finalmente alle argille. Per buona sorte vennero i lavori del tronco di ferrovia Camerlata-Chiasso a liberarci dalla necessità di fare induzioni riguardo a ciò che appariva inopinatamente alla luce del sole.

È noto che l' esecuzione della grande trincea che dovea incidere fino alla profondità di circa 16 m. il piano di Camerlata, ossia l' arena dell' anfiteatro morenico del lago di Como, incontrò ben tosto quasi insormontabili difficoltà. Le pareti della trincea sdrucciolavano giù quasi materia che si squagli, e il piano di essa in breve non era più che una larga gora di tremulo fango. La cosa era da prevedersi: sotto allo strato morenico, che copriva il fondo dell' anfiteatro, si distendeva, come a Balerna, come dapertutto al piede delle Alpi in Piemonte e in Lombardia, il mare delle argille plioceniche azzurre. Chiamato sul posto dalla Direzione delle ferrovie dell' Alta Italia, per avvisare ai provvedimenti da prendersi, ho potuto verificare tutti i particolari più minuti.

La torba, con piante di grosso fusto ancora radicate in posto, mostrava che anche qui, come in cento siti altrove, l' arena dell' anfiteatro era stata occupata temporaneamente da un lago, o piuttosto da uno stagno paludoso, il cui ultimo prosciugamento si deve certamente all' incanalamento delle acque nell' interno dell' anfiteatro, impiegate per l' irrigazione, poi versate nella valletta che da Camerlata discende a scaricarle nel lago di Como. Sotto le torbe vedevasi il fondo primitivo della palude rappresentato da uno strato di 30 a 40 centimetri di sabbia marnosa, gialla, zeppa di conchiglie d' acqua dolce (*Cyclas*). Il taglio della trincea si sprofondava ben tosto in una massa di sabbia, stratificata nel modo il più bizzarro.

(1) Stoppani, *Corso di geologia*, Vol. II, § 1479. — Il giorno 31 di marzo del 1874 tenni al *Salone dei giardini pubblici* in Milano la XII conferenza pubblica sui ghiacciai e l'epoca glaciale; nella quale, in presenza di 400 uditori almeno, sostenni la tesi che il clima dell'epoca glaciale fu un clima decisamente caldo, coerentemente alle cause stesse che hanno determinato lo sviluppo degli antichi ghiacciai. Ciò avveniva qualche mese prima della celebre scoperta dei fossili marini a Cassina Rizzardi, che venne, con tante altre dappoi, a dare alla mia tesi la conferma dell'evidenza. La questione del clima glaciale sarà del resto, come già promisi, trattata in esteso più tardi. Ora non voglio nemmeno lasciar credere al lettore che io consideri la mitezza del clima glaciale come una objezione a ciò che risulta dai fatti e che non è altro esso medesimo che un fatto dimostrato.

Essa era tutta un impasto di ciottoli d' ogni forma e d' ogni dimensione, con una quantità grande di massi erratici alpini, grossissimi, e ciottoli stupendamente striati in numero stragrande.

Era insomma la morena di fondo. Verso il basso la sabbia diventava più fina, argillosa, prendendo il colore delle argille, le quali si incontravano poi a 5 o 6 metri di profondità, ma ancora distintamente sabbiose. A 9 metri di profondità, dove arrestossi provvisoriamente lo scavo della trincea, si lavorava nell' argilla, resa scorrevole dalle acque filtranti in gran copia. Era però ancora un' argilla molto impura, abbastanza sabbiosa, e vi si vedevano ancora immersi, benchè più radi, i ciottoli striati, e massi alpini di enorme grossezza.

Per trovare l' argilla più pura, più compatta, senza mescolanza di sassi, bisognava discendere alcuni metri più sotto, mentre la si trovò difatti sotto l' incomposto sfasciume delle sabbie ciottolose, ad un livello di circa 20 metri più basso, dove il *tunnel* la dovette traforare per una lunghezza di circa 200 metri, come mostra la figura 47.

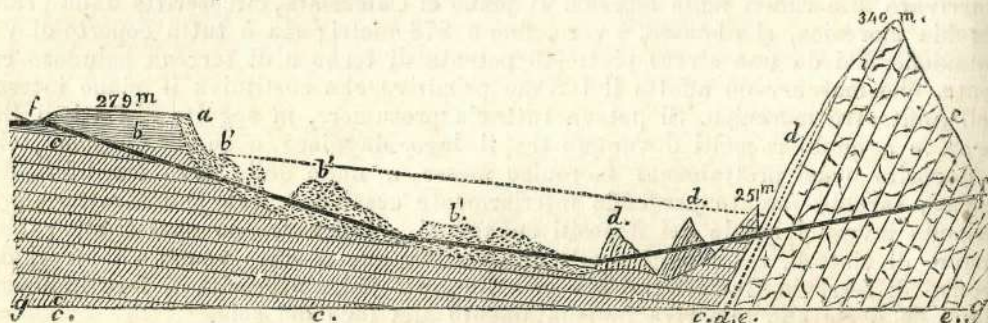



Fig. 47. — Spaccato sulla linea della ferrovia da Camerlata al tunnel sotto Montolimpino (1).

a. Torba e sabbia lacustri. — *b*. Sabbie con ciottoli e massi glaciali. — *b'*. Le stesse più sconcertate. — *c*. Argille azzurre. — *d*. Puddinghe e marne mioceniche. — *e*. Calcari del lias. — *ff*. Ferrovia. — *g g*. Livello del lago di Como a 198 m. sul livello del mare.

La figura 47, che presenta uno spaccato di poco più che 8 chilometri, delineato sui dati da me raccolti e su quelli fornitimi dalla gentilezza del signor ingegnere Costantino Ferrario assistente ai lavori su quel tronco ferroviario, basta a dare un' idea della costituzione di quel terreno. Sotto la torba e la sabbia marnosa lacustre *a* viene la zona delle sabbie a ciottoli e massi glaciali *b* come a Balerna, che rappresenta il terreno glaciale-marino di quella stessa località, e copre ugualmente delle argille *e*, con ciottoli striati e massi erratici, che passa più sotto alle schiette argille senza elementi glaciali. La ferrovia, indicata dalla linea *ff*, si sprofonda dapprima nelle argille ad elementi glaciali, ed esce più sotto nelle sabbie superiori ad esse. Queste sabbie *b'* sono ancora quelle che, più regolarmente sovrapposte alle argille, si incontrano sul piano di Camerlata. Ma l' erosione, la lavatura, gli sdrucciolamenti, i salti, che ebbero luogo nella valle che discende, precipitosamente e profondamente incisa, verso Como, ha siffattamente disturbato il deposito, e creato un tale caos, ch' io ho creduto bene di distinguerlo con una semplice punteggiatura (2). Sono però sempre le sabbie

(1) In questo spaccato il ragguaglio è di circa 1 : 70000 per le distanze, e di 1 : 3000 per le altezze.

(2) Della profonda erosione subita dal deposito che doveva in origine adeguare la valle, danno argomento la valle, stessa che è una vera *valle di erosione*, e i terrazzi stupendamente accentati nella parte superiore della valle, dove il deposito delle sabbie ciottolose è meglio conservato. Oltre la via Napoleona, sulla sinistra della valle, le trincee della ferrovia sono scavate nelle sabbie miste a ciottoli, con gran numero di massi erratici grossissimi. Ma non sono che avanzi della morena demolita e

ciottolose, rappresentanti la morena di fondo, che copre le argille, le quali si mostrarono più volte al disotto negli scavi praticati per la ferrovia, e furono poi, come dissi, incontrate da essa, e traforate per circa 200 metri dal tunnel di Montolimpino. Di ciò si persuaderà di leggieri il lettore osservando la figura 48, che rappresenta, colla maggiore approssimazione possibile, un tratto di forse 50 metri di trincea sotto Camerlata (in fondo alla valle sulla destra del torrente) da me stesso delineato in una gita fatta col prof. Martelli il 22 marzo 1875. Le sabbie sono regolarmente stratificate, ma presentano al tempo stesso una congerie, un caos di ciottoli e di massi glaciali, assai più denso nelle parti inferiori che nelle superiori, di cui la figura è ben lontana dal rappresentare il numero e la confusione. Alla base di quel pezzo di trincea affiorava l'argilla azzurra. Uno strato di sabbia giallastra *c*, abbastanza regolare, probabilmente corrispondente allo strato lacustre del piano di Camerlata, copriva anche qui il deposito delle sabbie moreniche, e serviva molto bene, come si vede nella figura 48, a mettere

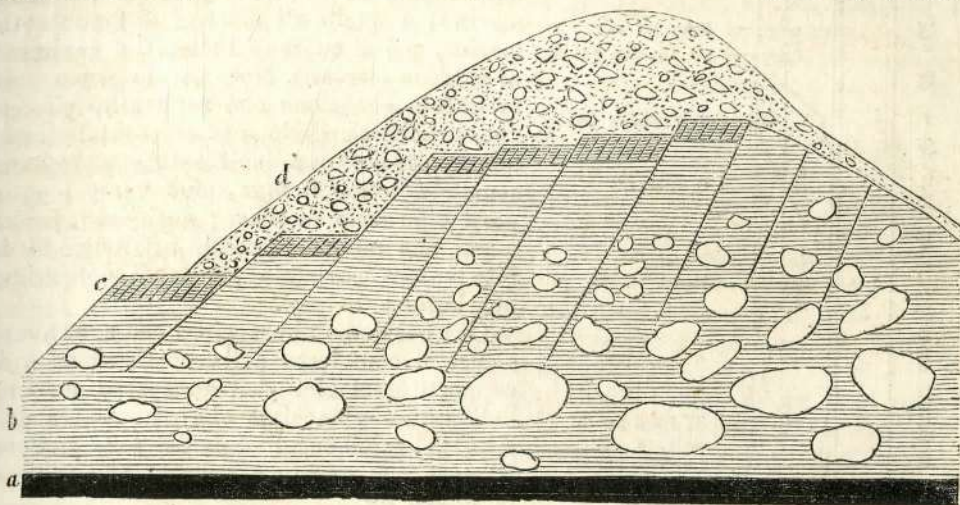



Fig. 48. — Tratto di trincea nella valle sotto Camerlata.

a. Argille azzurre. — *b*. Sabbie moreniche. — *c*. Strato di sabbia giallastra. — *d*. Frana superficiale.

in luce i salti e gli sdrucciolamenti a cui abbiamo detto doversi attribuire l'aspetto straordinariamente caotico della morena di fondo nella valle.

Superiormente tutto il deposito antico si mostrava coperto da più moderno sfasciume *d*, proveniente dalla frana nudrita dai sovrastanti colli. Tornando alla *figura* 47, dalle argille e dalle sabbie moreniche sovrapposte veggonsi a volta a volta spuntare le puddinghe e le marne mioceniche, sollevate quasi alla verticale, che costituiscono la piccola catena del Castel Baradello (vedi *tavola* XIII) e di Montolimpino, a cui succedono le marne variegate, probabilmente eoceniche, poi, per salto, i calcari del lias *e*, che formano il diafragma roccioso che separa il bacino di Balerna da quello del lago di Como.

Riassumendo le fatte osservazioni, risulta che sotto il terreno glaciale marino, il quale costituisce la base di tutto l'anfiteatro morenico del lago di Como, si trovano le argille azzurre come in tutto il bacino di Balerna, e come dovunque.

portata al basso dall'erosione. Ciò mi apparve evidente, osservando le cataste di grossi massi, corrispondenti a ciascuna delle vallette laterali, superiormente al detrito sabbioso assai meno ricco di massi, che occupava il lato della valle verso il fondo. Voglio dire che quelle cataste naturali rappresentavano il condensamento degli elementi più grossi, dovuto alla lavatura che aveva esportato gli elementi minori.

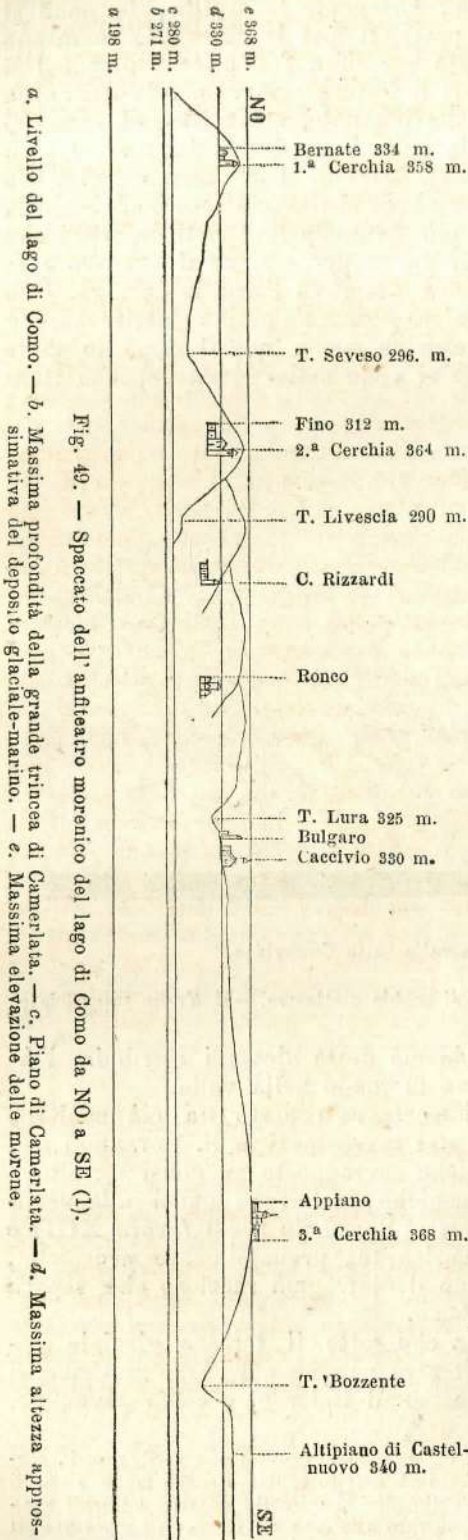



Fig. 49. — Spaccato dell'anfiteatro morenico del lago di Como da NO a SE (1).

a. Livello del lago di Como. — *b.* Massima profondità della grande trincea di Camerlata. — *c.* Piano di Camerlata. — *d.* Massima altezza approssimativa del deposito glaciale-marino. — *e.* Massima elevazione delle morene.

Benchè non siansi rinvenuti fossili di nessuna sorta, l'identità della successione e dei rapporti stratigrafici, e l'identità di struttura e di composizione non lasciano dubbio sulla identità delle formazioni. Si può conchiudere infine che l'anfiteatro morenico del lago di Como si posa sulle argille azzurre del pliocene, radicandosi in esse, in guisa che rimane dimostrato una volta di più che i ghiacciai sboccarono nel mare pliocenico ed eressero sul fondo, composto d'argille azzurre, le loro morene, che passarono gradatamente dalle condizioni di una semplice miscellanea di elementi glaciali con fango marino, a quelle di morene di fondo sottomarine, poi di morene littorali, e finalmente di morene terrestri. Noto per la prima volta in questa occasione che le argille plioceniche, benchè sensibilmente orizzontali, hanno qui e altrove una inclinazione abbastanza sensibile verso il lago, cioè verso l'antico *fiord* o braccio di mare; accidente questo, a cui non mancheremo di attribuire il debito valore parlando più tardi dell'origine dei laghi subalpini.

Ora possiamo abbracciare con sguardo più sicuro il complesso della costituzione e dei rapporti geologici dell'anfiteatro morenico dell'antico ghiacciajo che discendeva dalle Alpi pel ramo occidentale del lago di Como. Basterà per questo osservare attentamente la *figura* 49.

La base dell'anfiteatro è formata da una zona potente di argille azzurre *a b*, le quali, dai primi strati sabbiosi, con ciottoli striati e massi erratici discendono, con sovrapposizione regolare di strati, per lo meno fino al livello del lago di Como (198 m. sopra il livello del mare) con una potenza complessiva almeno di 73 metri. Tanto si può ritenere, mentre il deposito regolarissimo delle argille è traforato dal tunnel a soli 32 m. sul livello del lago di Como, dove accenna a sprofondarsi assai più. Queste argille, a strati sensibilmente orizzontali, riposano immediatamente sulle testate degli strati più antichi (miocene e lias) sollevati talora fin quasi alla verticale, adeguando, come a Balerna, tutte le irregolarità orografiche prodotte dal sollevamento delle Alpi e delle Prealpi anteriormente al periodo pliocenico.

Sopra le argille, con insensibile trapasso, trovasi una zona *b c* di sabbie more-

(1) Il rapporto è di circa 1:75000 per le distanze orizzontali, e di 1:10000 per le altezze verticali.

niche, impastate di ciottoli e massi glaciali, con stratificazione irregolarissima, rappresentante la morena di fondo, che occupa l'arena, ossia l'area interna dell'anfiteatro morenico, e serve di base ai rilievi formanti le tre cerchie di morene, costituenti il circo dell'anfiteatro. Questa zona non misura che circa 9 metri di profondità.

Sopra la zona delle sabbie basilari riposa una zona *c d*, della potenza di 50 metri, che offre tutti i caratteri di morene sottomarine o littorali. Appartengono a questa zona tutte le cave a fossili marini, ciottoli striati e massi erratici di Fino, Cassina Rizzardi, Ronco, Bulgaro Grasso, Caccivio. L'altezza massima di 330 metri sopra il livello del mare di questa zona di schietto terreno marino-glaciale è desunta dalla località di Caccivio, che presenta le cave fossilifere che hanno la maggiore elevazione.

Sopra la zona del terreno marino-glaciale si elevano fino a 368 metri sul livello del mare, cioè con una altezza assoluta di 38 metri, i cucuzzoli o le creste delle tre cerchie moreniche, aventi i caratteri di morene terrestri.

Verso levante esternamente alla terza cerchia morenica, scorre, profondamente incassato entro il terreno glaciale, il torrente Bozzente, che separa la regione delle morene da un vasto terrazzo od altipiano, detto Cento-valli, ma che io credo meglio, per comodo degli studiosi che fanno uso delle carte topografiche ordinarie, chiamare col nome di *Altipiano di Castelnuovo*, desunto da quello della più grossa borgata sita su quello stesso altipiano. L'altipiano di Castelnuovo, di natura argilloso, è in esatta corrispondenza colla zona fossilifera marino-glaciale e si dipartiva certamente in origine dalla base esterna della terza cerchia morenica, da cui non venne separato che per via di erosione praticata dal torrente. Detto altipiano non è che porzione di quello enormemente più vasto, che circonda esternamente quasi a foggia di un gran gradino semicircolare, tutto l'anfiteatro corrispondente ai due rami del lago di Como. Per sventura questa porzione, che è una delle meglio conservate, non venne fatta sino ad oggi soggetto di ricerche e di studî speciali. Per discuterne il valore bisogna portarci ad un'altra vasta porzione dello stesso gradino meglio descritta e, già da molti anni, da me considerata sotto il punto di vista de' suoi rapporti coll'anfiteatro morenico da cui dipende. Parlo della Groana e, con quanto passiamo a dire circa la costituzione e i rapporti di questo altipiano che si diparte immediatamente dall'anfiteatro morenico del ramo di Como, di cui non è altro che il complemento, spero di poter completare, come meglio si può in oggi, lo studio dello stesso anfiteatro, principalmente sotto il rapporto della sua origine mista, marina e glaciale. Vedasi in proposito la *figura* 50.

8. Dell'origine della Groana e in generale dell'origine glaciale-marina dei terrazzi premorenici dell'Alta Italia.

Chi dalle rive dell'Adriatico si avvia verso le Alpi, seguendo la valle del Po, non passa di botto dalla pianura alla prima serie dei colli che rappresenta gli antichi anfiteatri morenici. Prescindendo dai terrazzi che a volta a volta interrompono l'uniformità della pianura, turbandone il naturale declivio, più numerosi e accentati sui fianchi delle valli che la solcano, prima di arrivare alle colline moreniche, vede presentarglisi un vasto altipiano. Esso è rotto in cento parti da cento valli che confluiscono al Po: sono valli larghissime, o piuttosto larghe depressioni, terrazzate alla loro volta, e in fondo a ciascuna si vede scorrere profondamente incassato il torrente o il fiume a cui si deve tutto quell'immenso lavoro di erosione. Evidentemente i singoli altipiani, che dividono l'una dall'altra le valli subalpine, non sono che i residui di un solo altipiano il quale correva, a foggia di immenso gradino, lungo il piede delle Alpi e delle Prealpi nel senso della loro lunghezza, e si può facilmente ristaurarlo coll'immaginativa, tanto i

singoli altipiani in cui è diviso al presente, si corrispondono talora come parti di un tutto. Il frazionamento attuale è pura opera dei torrenti i quali scesero dalle Alpi e, prima di gettarsi nella pianura per riunirsi nel Po e giungere al mare, dovettero incidere il descritto gradino, e frazionarlo in tanti altipiani parziali, secondo una legge, di cui non mancheremo di intrattenerci prima di chiudere questo volume. Intanto quello che importa è di riconoscere la natura e l'origine di quello stesso altipiano, di cui le singole porzioni non sono, il ripeto, che i relitti di un gran piano composto di terreno mobile che si lasciano dai lavoranti quando fanno uno sterro, perchè il sovrintendente ne misuri la quantità.

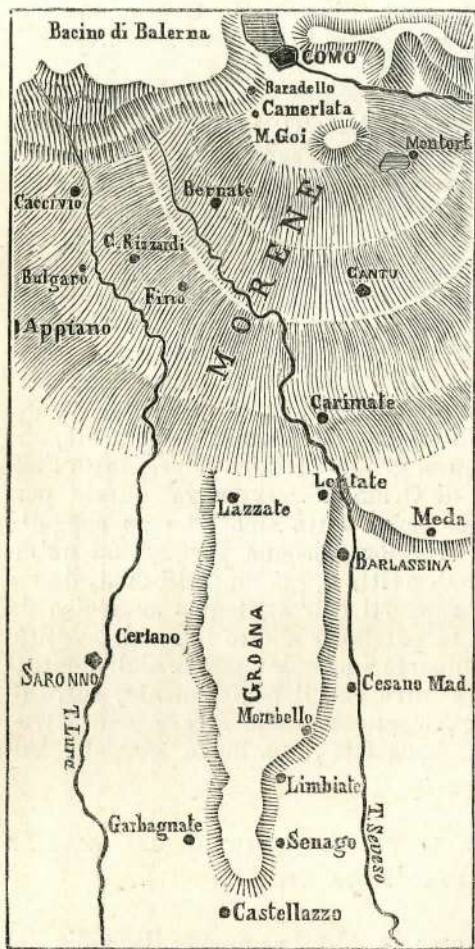



Fig. 50. — Schizzo di una carta dell'altipiano della Groana e dell'anfiteatro morenico del lago di Como.

Quanto dissi di un altipiano, che corre a foggia di gradino lungo la base delle Alpi, tra le colline moreniche e la pianura, è letteralmente vero principalmente per quella parte di essa pianura che corrisponde ai due grandi anfiteatri del lago di Como e del lago Maggiore, sopra una lunghezza di circa 60 chilometri da est a ovest. Chi viaggia in ferrovia da Milano a Como, guardando a destra nel giungere a Seregno vede assai nettamente disegnarsi a breve distanza un terrazzo regolarissimo, alla cui base è posto il paese di Meda, che si innalza sul terrazzo stesso, dominato dalla chiesa e dall' antico convento, ora palazzo Traversi. La ferrovia si appressa sempre più alla base di quel terrazzo, finchè lo tocca, anzi vi si interna, giunto che sia alla stazione di Camnago, mentre si vede il terrazzo stesso continuare oltre il Seveso a sinistra, formando l' altipiano sopra Barlassina, Cesano Maderno, ecc. (vedi fig. 50). Il delineato altipiano è quello che corrisponde, come meglio vedremo, all' anfiteatro morenico di Como.

Chi invece prende da Milano colla ferrovia verso il lago Maggiore, nel giungere presso a Gallarate vede pure disegnarsi a breve distanza un altro altipiano, e lo incontra appena al di là di Gallarate, dove ci passa nel mezzo, tanto se piglia la via di Varese verso nord, quanto se continua quella di Sesto Calende verso nord-est. Ma l' altipiano di Meda e di Barlassina, che chiameremo Groana, come quello da Gallarate a Sesto Calende, al quale si dà il nome generico di Brughiere di Somma, sono porzione dello stesso altipiano, orograficamente uno, ma diviso in più parti dai torrenti e dai fiumi. Altrove il terrazzo o è meno evidente, o manca affatto, come nella parte che dovrebbe corrispondere all' anfiteatro morenico del lago di Garda, e agli altri del Veneto. Ci renderemo a suo tempo ragione di questa mancanza. Ma intanto l' esistenza di un altipiano premorenico merita tutta la nostra considerazione, dovesse anche ridursi soltanto alla porzione compresa tra l' Adda e il Ticino. A questa infatti vogliam limitarci per ora, per ciò che riguarda l' argomento del presente paragrafo. Questi limiti ci vengono imposti dalla prudenza e dalla necessità, 1.° perchè, come dissi, gli

anfiteatri subalpini ad est, cominciando da quello del lago di Garda, non presentano il fenomeno di un altipiano che si distende tra essi e la pianura; 2.° perchè, riguardo a quella parte che è fuori dell'area indicata, ci mancano sufficienti osservazioni. Anzi per giungere più presto a più sicure conclusioni, ci limitiamo al momento alla sola Groana, salvo l'applicarle, a modo di veduta generale, a tutta quella parte dell' Italia subalpina che si presenta nelle stesse condizioni.

Si dà nome di Groana, come abbiamo indicato, all'altipiano o terrazzo compreso tra la valle della Lura e quella del Seveso, più precisamente entro sei punti, che possono servire a tracciare una specie di lungo quadrilatero, e sarebbero Lazzate e Lentate a nord, Ceriano ad ovest, Cesano Maderno ad est, Garbagnate e Senago a sud. È lungo al massimo circa 14 chilometri, e largo 4. Le nostre osservazioni però si estenderanno anche alla porzione sulla sinistra del Seveso, tra questo torrente e il Lambro, che è meglio conosciuta sotto il nome di Brughiera di Meda e di Mariano.

La costituzione della Groana presenta un qualche cosa di simile ad un piano alluvionale; ma è piuttosto un ammasso di ciottoli entro un impasto argilloso. I ciottoli sono a preferenza porfirici.

In quale rapporto si trova questo singolare altipiano colle colline moreniche che si trovano a nord? Osservando la carta schematica fig. 50, si vede che la Groana è come il prolungamento della base esterna dell'anfiteatro morenico del lago di Como, da cui si stacca come un gradino alla base di un edificio. Ciò meglio si comprende osservando la fig. 51, la quale presenta un profilo da sud a nord della pianura, dell' altipiano della Groana e dell'anfiteatro morenico del lago di Como. Una dipendenza orografica così stretta e immediata dice indubbiamente anche un rapporto, anzi un' immediata dipendenza geologica. Quale può essere il nesso geologico tra la Groana e le morene di Como, e in genere tra gli altipiani premorenici, e le morene che si trovano andando verso nord?

Fig. 51. — Profilo della pianura, dell'altipiano della Groana e dell'anfiteatro morenico del lago di Como da sud a nord.

a. a'. Livello del mare — *b. b'*. Livello del lago di Como. — *c. c'*. Argille plioceniche. — *d. d'*. Deposito glaciale-marino. — *e. e. e.* Morene. — Distanze = 1 : 250000. Altezze = 1 : 20000.

Finchè si ignorava il carattere marino dei nostri anfiteatri morenici, non si poteva certamente comprendere perfettamente l'origine e la natura degli altipiani dipendenti. Essendo però chiara la loro mutua

dipendenza, io aveva, fino dal 1865, nelle mie *Note ad un corso di geologia*, considerato gli altipiani premorenici come rappresentanti del deposito alluvio-glaciale, formato dai torrenti, i quali, sgorgando dagli antichi ghiacciai che si arrestarono alla base delle Alpi, deponevano immediatamente sul piano le loro alluvioni (1). Io non ho che da apportare una leggera modificazione alla mia idea espressa or fan dodici anni: basta infatti sostituire alla pianura, che allora si considerava già formata, il fondo dell'antico mare glaciale, a cui mettevano capo i ghiacciai delle Alpi, mantenendo del resto il già detto con quelle modificazioni che sono un corollario immediato di ciò che è ora ammesso in seguito alle nuove scoperte. Il detrito morenico, invece di essere trasportato e distribuito dai fiumi, sarà invece preda delle onde del mare le quali si incaricheranno di ugualmente deporlo e distribuirlo, formando un bassofondo, che si distenderà ugualmente da nord a sud partendo dalle fronti dei ghiacciai che si tuffavano in mare.

Io mi sono intrattenuto abbastanza sul modo con cui i ghiacciai polari portano al mare il loro detrito, e lo abbandonano sul suo fondo, ed edificano morene e bassi fondi marini e glaciali ad un tempo, per poter credere che il lettore abbia bisogno di ulteriori spiegazioni per comprendere nella sua interezza il mio concetto. Io lo pregherei, nel caso, a rileggere il § 4 (pag. 160), applicando egli stesso alla formazione delle morene e degli altipiani premorenici dell' alta Italia, quanto si è detto sulle morene e sui bassifondi morenici che sono anche oggi in formazione nei fiords della Groenlandia. Gli richiamerò specialmente la fig. 45, cioè il profilo del ghiacciajo del fiord di Pakitosk e la relativa descrizione a pag. 166. Si ricordi che le due morene, antica e moderna, che incrociano il fiord sono precedute da un vero altipiano sottomarino, ossia da un bassofondo, composto naturalmente del detrito stesso che il ghiacciajo venne mano mano portando al mare. Si ricordi che quell' altipiano è ancora in oggi inondato dal mare durante l'alta marea, per cui è continuamente dal mare stesso elaborato, con tutta la probabilità di abbandonarvi tra il detrito le spoglie degli animali marini che l'onda viene scopando dal fondo del mare. Vi è dunque la più perfetta corrispondenza tra quello che ci presentano i nostri anfiteatri morenici coi rispettivi altipiani dipendenti, e quello che si va operando sotto gli occhi nostri in quei fiords che corrispondono così bene all'ideale di quegli antichi fiords che, diramandosi dall'antico Adriatico nell'epoca glaciale, erano ugualmente occupati e percorsi dai ghiacciai. Unica differenza tra l' apparato glaciale nei fiords della Groenlandia e

(1) Piacemi riportare il passo a cui qui si allude: « Seguendo la linea che confina le colline a mezzodì tra l'Adda e il Lago Maggiore, noi troviamo che tra le colline e la bassa pianura esiste una specie di altipiano quasi continuo. Esso altipiano è diviso in due grandi regioni principali, l'una nota sotto il nome di Groana, e comprende le brughiere in parte coltivate e in parte sterili di Mariano, Barlassina, ecc.; l'altra si indica col nome di Brughiere di Gallarate e di Somma. Le Commissioni da lungo tempo istituite per lo studio delle brughiere, allo scopo di utilizzarle, avevano già segnalata la specialità del terreno che distingue le due regioni. La Groana è costituita da una terra compatta, poco permeabile, d'indole argillosa, che si distingue col nome poco proprio di ferretto. Nelle brughiere di Somma e di Gallarate invece predomina l' indole sabbiosa. Queste sono in genere assai più sterili della Groana, dove segnatamente riesce la coltura del frumento. Quale è la ragione di tale divario? Sarebbe per mio avviso semplicissima. Quell'altipiano è per me il deposito alluvio-glaciale, il detrito deposto dalle fiumane sgorganti dai vasti ghiacciai arrestatisi approssimativamente ai limiti meridionali delle colline, e che sgorgavano ricche di torbida immediatamente sul piano. Ora la Groana dipende dal ghiacciaio che, proveniente dalla Valtellina, passava sopra Como e terminava presso Barlassina. Le dioriti, i porfidi, le serpentine, le rocce talcose, ecc., che predominano in Valtellina, erano le più atte a dare un detrito argilloso, dipendendo l'argilla segnatamente dalle decomposizioni delle rocce feldspatiche.

Le brughiere di Gallarate e di Somma invece dipendono dal Ticino, ed erano portate dai grandi ghiacciai provenienti dal gruppo del San Gottardo. L'enorme sviluppo dei gneis, dei micaschisti, dei graniti, in genere delle rocce granitiche del gruppo del San Gottardo, triturate dai ghiacciai, dovevano dare un detrito eminentemente sabbioso. Ho esaminato il detrito glaciale, sia sulle sponde del lago di Como, sia su quelle del lago Maggiore, e credo non si possa meglio caratterizzare il primo, che indicando il predominio delle dioriti, dei serpentini e dei calcari, mentre il secondo è caratterizzato dal predominio dei gneis e dei micaschisti » (Stoppani, *Note ad un corso di geologia*, Milano 1868, Vol. I, § 557)

quello dei nostri antichi ghiacciai ai limiti settentrionali della nostra pianura sta in questo (ragionando per ora soltanto sulla forma e sulla natura del terreno), che gli apparati glaciali nei fiords stanno ancora per la massima parte sotto il mare od al livello del mare, mentre i nostri apparati sono sollevati più centinaja di metri sopra il marino livello, ed internati qualche centinajo di chilometri nel continente. Ma che avverrebbe se la Groenlandia, la quale non manca di offrirci tutti gli indizî di recenti oscillazioni, venisse a sollevarsi di tanto, di quanto si sollevarono, dopo la formazione degli anfiteatri morenici, la Lombardia e il Piemonte? Gli anfiteatri morenici emersi, si erigerebbero sul fondo marino asciugato, come a Como e ad Ivrea: alla base esterna poi di essi anfiteatri si distenderebbero, in forma di asciutti altipiani, i marini bassifondi formati di terreno glaciale. Non mancherebbe che il lavoro successivo dei fiumi, i quali erodendo le morene e gli altipiani ad un tempo, dividessero questi in tanti altipiani parziali, che renderebbero la forma di altrettanti gradini. La fig. 51 che rappresenta l'antico apparato glaciale del lago di Como, corrisponde perfettamente all'ipotesi, e rappresenta qualunque altra porzione di un fondo marino con apparato morenico marino sollevato, prosciugato, eroso. La Groana non è che porzione dell'antico bassofondo marino che precedeva le morene a basi sottomarine, le quali formano in oggi l'anfiteatro morenico del lago di Como.

Ma non fa bisogno di ricorrere ad ipotesi, per mostrare la perfetta corrispondenza dei nostri altipiani premorenici con un bassofondo premorenico sollevato. Gli studii di parecchi geologi, recentemente perfezionati e condotti alle più sicure conclusioni dal già lodato sig. Helland, ci prestano tutti gli elementi di fatto che potremmo desiderare per ridurre alla maggiore evidenza l'interpretazione dei fatti di cui ci occupiamo. Presento al lettore i principali risultati di questi studî, quali ce li presenta l'autore nella sua eccellente memoria sui fiords e sui laghi di Norvegia e Groenlandia (1).

Si nota, dice l'Helland, un' intima relazione tra i laghi di Norvegia, e la differente estensione degli antichi ghiacciai. Questa relazione si verifica in molte delle cosidette *valli-fiords* della Norvegia occidentale (2), ed in parecchie delle basse valli della Norvegia meridionale. Nei distretti di Hardanger, Sogu e Nordfiord, partendo dalla estremità interna dei fiords per andare verso le valli, si trova che l'imboccatura di queste è coperta per uno a otto chilometri di terreno detritico (ciottoli, ghiaje, sabbie, talora argille) disposto a terrazzi. Dopo questo tratto trovasi più volte un lago profondo. Ma tra l'estremità del lago e il tratto di terreno detritico a terrazzi che discende alla riva del

Lago 90 m.
Morena 136 m.
Gran terrazzo 84 m.
Terrazzi 3-37 m.
Mare

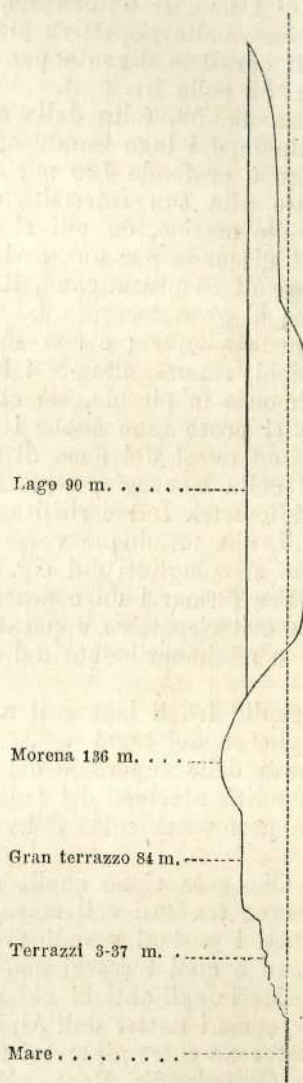



Fig. 52. — Sezione del lago Sandvendvand (Odda, Hardanger in Norvegia).

(1) *On the fjords, lakes and cirques in Norway and Greenland.*

(2) Si è dato il nome di *valli-fiords* a certe valli della Norvegia che, al pari dei nostri laghi lombardi, si internano nelle montagne, in forma di vere gole o *chiuse*, che hanno tutta la forma dei fiords delle regioni circumpolari, ed erano esse pure altrettanti fiords, cioè canali di mare dell'epoca glaciale. Le nostre grandi valli alpine, nominatamente quelle occupate parzialmente dai grandi laghi lombardi, non son altro che *valli-fiords*.

mare, ossia del fiord, si vede sovente il materiale detritico pigliare la forma di morena, il cui asse forma angolo retto coll'asse longitudinale del lago, sicchè lo incrocia e lo sbarra. Si direbbe che il sig. Helland descrive precisamente ciò che si incontra partendo dal mare o dalla valle del Po che per noi ne tiene le veci, per giungere al lago di Como, incontrando successivamente la pianura terrazzata, l'altipiano della Groana e in fine l'anfiteatro morenico che incrocia e sbarra il lago di Como. Il lettore può, se gli accomoda, sostituire al lago di Como il lago Maggiore, colle rispettive morene e i terrazzi dipendenti.

Il parallelo diventa per evidenza smagliante quando solo vogliasi confrontare la fig. 52 colla 51.

La fig. 52, tolta dalla citata memoria dell'Helland, presenta la sezione longitudinale del lago Sandvendvand col terreno detritico, che lo separa dal mare. Il lago è profondo 120 m., di cui 30 si misurano sotto il livello del mare. È sostenuto alla sua estremità verso mare da una morena elevata a 136 m. sopra il livello marino, da cui si diparte un terrazzo regolarissimo, elevato 84 m., da cui si discende per una serie di terrazzi minori al mare. Sostituite sulla fig. 52 al lago di Sandvendvand, il lago di Como; alla morena l'anfiteatro morenico di Como; al gran terrazzo la Groana; al pendio a piccoli terrazzi la terrazzata lombarda pianura; e non c'è nulla a mutare del resto, salvo la scala delle dimensioni, rappresentando i laghi di Norvegia, coi rispettivi apparati glaciali, generalmente in piccolo, ciò che da noi si verifica generalmente in grande. Così del resto si presentano anche i più grandi laghi della Norvegia sud-est, e quelli ad est e ad ovest del fiord di Cristiania. Gli stessi risultati danno i laghi nelle altre parti della Norvegia, come il Mjösen, lungo 99 chilometri, e il Randsfjord, lungo 73 chilometri. Infine risulta che vi sono in Norvegia 51 laghi, compresivi i più grandi, che terminano verso il mare con morene e terrazzi. Di questi più di 38 furono scandagliati dal sig. Helland.

Per formarci un concetto dei rapporti tra i laghi nelle valli-fiords in Norvegia e il rispettivo apparato morenico che termina al mare, riporto alcune massime e minime rilevate dal sullodato Helland.

Intervallo tra il lago e il mare	da	1	a	7	chilom.
Lunghezza dei laghi	»	2	»	28	»
Altezza della superficie dei laghi sul livello del mare .	»	3	»	90	metri
Profondità assoluta dei laghi	»	34	»	486	»
Loro profondità sotto il livello del mare	»	14	»	432	»

Che cosa siano quelle morene e quei terrazzi che sbarrano i laghi norvegici, e stanno tra essi e il mare, è presto detto. Nel senso del signor Helland, e credo di tutti i geologi scandinavi, per non dire di tutti i geologi del mondo, quelle morene e quei terrazzi non sono che morene marine e bassifondi morenici marini, fabbricati dagli antichi ghiacciai della Norvegia, quando, discesi dalle Alpi Scandinave, come i nostri dall'Alpi nostre, per la via dei fiords, arrivarono al mare, e si arrestarono entro gli stessi fiords, precisamente come fanno attualmente i ghiacciai della Groenlandia. Venne più tardi il sollevamento post-glaciale, per cui è terra così classica la Scandinavia. Contemporaneamente avvenne il regresso dei ghiacciai. Le morene marine si internarono nel continente; i bassifondi morenici divennero altipiani, terrazzati successivamente dalla doppia azione erosiva dei fiumi e del mare; la parte più interna dell'antico fiord, libera dal ghiaccio, divenne lago. Per ciò che riguarda l'origine e la natura delle morene e dei terrazzi morenici, si hanno in favore tutti quei caratteri che servono a distinguere i depositi glaciali. Se le morene dicono da sè stesse la loro origine, mediante la struttura interna e la forma esterna che le caratterizzano; pei terrazzi che ne dipendono basterà ripetere col signor Helland che essi hanno la stessa composizione delle morene. Ma per la tesi generale notisi dal lettore questo fatto importantissimo, che molti di quei

terrazzi contengono fossili marini. Non dubita l'Helland che quei terrazzi rappresentino, come in Lombardia, il livello del mare sulla fine dell'epoca glaciale, e quindi attestino per la Norvegia un sollevamento post-glaciale di 100 a 200 metri. Per esprimersi più chiaro dice che quei terrazzi *non sono che morene spianate dalle onde del mare* (1). Qualche volta anzi le vere morene sulla fronte del lago sono sostituite da un gran terrazzo. Io mi riservo di trattare più tardi la questione della formazione dei laghi che terminano verso mare con morene e terrazzi, come è il caso tanto dei laghi norvegici quanto dei grandi laghi di Lombardia. Ciò che importa ora di ben rimarcare è la perfetta corrispondenza di posizione, di natura, di origine tra le morene e i terrazzi che stanno tra il mare e i laghi lombardi, e quelli che stanno ugualmente tra i laghi e i mari di Norvegia. Io credo d'aver detto abbastanza perchè il lettore veda da sè stesso che qui non si tratta di semplice somiglianza, ma di vera identità. Se identiche sono le condizioni risultanti dal confronto tra il lago di Como, colle sue morene e col grande terrazzo corrispondente (Groana), e i 50 laghi di Norvegia osservati dall'Helland, identica dev'esserne la storia. Lasciando il resto che si è già dimostrato ad esuberanza, risulterebbe intanto che la Groana non è altro che il bassofondo sottomarino morenico, che si formava in dipendenza dalle morene, quando l'antico ghiacciajo del lago di Como si tuffava in mare, precisamente sui limiti dove eresse il suo grande anfiteatro a base morenica marina. La cosa si può applicare in generale a tutta quella serie di terrazzi che stanno cogli anfiteatri morenici di Lombardia negli stessi rapporti della Groana coll'anfiteatro morenico di Como. L'unica differenza che si potrebbe notare tra il sistema delle morene e dei terrazzi lombardi, e quelli della Norvegia, sta in ciò, che da noi si può dire che la pianura del Po si sostituisce al mare, il quale si trova assai più lontano dalle morene e dai terrazzi morenici che in Norvegia. Non è che una questione di più e di meno, che non dice nulla contro la natura dei fenomeni.

Tuttavia per sgombrare ogni difficoltà in proposito basterà riflettere che i nostri antichi ghiacciai venivano tutti insieme a terminare entro un golfo relativamente assai stretto, mentre i ghiacciai della Norvegia sboccavano nel mare aperto. Ne avvenne che la confluenza dei nostri ghiacciai, e quella dei mille fiumi che si versavano allora e si versano ancora in quel seno di mare, ora valle del Po, diedero naturalmente un grande sviluppo ai terreni alluvionali, colmando la valle del Po, e creando alla base dei terrazzi morenici la pianura lombarda. I ghiacciai e i fiumi norvegici, invece, sboccando in mare ciascuno isolatamente, non fabbricarono che altrettanti brevi piani fra loro indipendenti. Riuniti invece tutti in un seno di mare, l'avrebbero colmato, creando una sola vasta pianura come la nostra.

Per rendere poi sicuro da ogni objezione il parallelo tra la Groana nostra e i terrazzi premorenici di Norvegia, non si poteva desiderare altro che questo, che come si raccolsero conchiglie marine nella porzione basilare delle nostre morene, così esse venissero scoperte entro il terreno, tutto d'origine glaciale-marino, che compone la Groana. Anche questi fossili non si lasciarono molto a lungo desiderare, ed è questa, io penso, una delle più recenti, come delle più interessanti scoperte, sulla quale chiamo tutta l'attenzione dei geologi, parendomi sia tale da troncare finalmente ogni difficoltà che si possa trovare nell'ammettere finalmente nella sua interezza la tesi da me sostenuta, che cioè i nostri ghiacciai sboccarono in mare, e dovettero quindi, fino a mutate condizioni, fabbricare morene e bassifondi morenici marini e tutto un apparato glaciale-marino. I primi sentori di tale scoperta ci vennero dal Prof. Mercalli.

Nella seduta del giorno 30 aprile 1876 della Società Italiana di *Scienze naturali* il sullodato professore conchiudeva le sue *Osservazioni geologiche sul ter-*

(1) Vale la pena di riportare le parole stesse del signor Helland: « The geological structure of the highest terraces is the same as that of the moraines; they are therefore *only moraines* made level by the waves of the sea. » — (*On the fjords, lakes etc.*).

reno glaciale dei dintorni di Como col presentare due bellissimi esemplari di *Perna Soldani* ed altri di ostriche, ch'erano state trovate già da parecchi anni nell'argilla (ferretto), che compone l'altipiano della Groana, dal sig. dott. Achille Varisco, cultore degli studî naturali. Quelle conchiglie erano state rinvenute a qualche metro dalla superficie, nello scavo per le fondamenta d'una chiesuola che sorge ora sul ciglio orientale dell'altipiano, a metà via tra Limbiate e Mombello.

Alcune settimane dopo, il signor Mercalli andava egli stesso a verificare la località, e non durò fatica a riportare dal suolo superficiale diversi esemplari di ostriche, impastate nel ferretto. Una volta dato l'allarme, quelle reliquie dell'antico mare vennero fuori da diverse parti, e se sta la legge delle proporzioni non anderà molto che avremo un numero sufficiente di conchiglie marine che ci dia diritto di dare alla lista che se ne farà l'intestazione di *Fauna marina dell'altipiano morenico della Groana.* Finora si tratta soltanto di tre località, ma esse misurano già tutta la lunghezza dell'altipiano morenico, cominciando da quella porzione che sorge a nord sulla sinistra del Seveso, fino all'estremità a sud che muore nella pianura. Le località alle quali si accenna sono le seguenti:

Meda. Una valva inferiore ed una superiore di *Ostrea edulis* favoritemi dall'amico D. Enrico Orsenigo. Venni inoltre assicurato che conchiglie marine di specie diverse si raccoglievano tempo addietro sovente in quella località, senza che se ne facesse caso da altri che dai bambini a cui servivano di trastullo.

Seveso. Fui assicurato da un proprietario sul luogo che sull'altipiano della Groana, precisamente nel terreno superficiale si raccolsero molte conchiglie marine in occasione del dissodamento di un pezzo di brughiera ridotto a cultura.

Tra Limbiatee Mombello. Due magnifici esemplari di *Perna Soldani* e sette od otto di *Ostrea edulis,* raccolti dai citati signori Varisco e Mercalli.

Senago. Diversi esemplari dell'*Ostrea edulis* trovati alla superficie della brughiera o in terreno vergine a certe profondità dal conte Carlo Borromeo o dai componenti la nobile famiglia.

Merita speciale considerazione la costituzione geologica della Groana. La natura di questo altipiano differisce, come abbiamo già accennato, da quella degli altri altipiani tanto ad Oriente quanto ad Occidente di esso, mentre, come pure abbiamo stabilito, non formano che un solo sistema, anzi un solo grande terrazzo, frazionato dall'azione erosiva dei torrenti e dei fiumi. La specialità litologica della Groana era già stata rimarcata dal Breislak (1). Il suolo della Groana ha una composizione affatto propria, che male si indicherebbe dicendosi semplicemente argilloso. Si farà bene a conservare il nome di *ferretto,* col quale si indica in quei posti precisamente la roccia che si incontra appena sotto il terreno superficiale, sprofondandosi poi molti metri senza mutare natura. Non ho potuto finora raccogliere nessun dato circa la sua vera profondità. Il ferretto si prenderebbe a prima giunta per un'argilla ferruginosa, dura, impermeabile all'acqua, sporca, sparsa di ciottoli e di detrito roccioso. Quanto alla tessitura non vi ha nulla che meglio gli si assomigli dei tufi vulcanici della campagna di Roma, e di Posilipo nei dintorni di Napoli. Nel ferretto come nel tufo si possono difatti scavare con facilità delle gallerie, le quali rimangono asciutte, e poco attaccabili all'azione atmosferica. La Groana si presterebbe perciò benissimo all'antico sistema delle catacombe; in questi ultimi tempi invece si approfittò di questa sua natura per scavarvi dei sotterranei molto vasti ad uso di cantine. Il sig. Taramelli ha il merito di avere per il primo indovinata la natura di quel terreno singolare. Il ferretto non è infine che un impasto di fango, con una qualità decisamente prevalente di ciottoli di porfido, misti a ciottoli d'altra natura. Le sue condizioni litologiche attuali si devono principalmente alla decomposizione dei porfidi, i quali si rammollirono in guisa da formare col fango, materia fondamentale dell'impasto (2), un solo im-

(1) *Descrizione geologica della provincia di Milano.* Milano 1822, pag. 54.

(2) Può far specie l'enormità di quella massa di fango, che misto all'altro detrito sabbioso o sassoso, ha dato luogo ad una formazione che può aver benissimo uno spessore di 50 m. e più, e, tra l'Adda

pasto argillo-ferruginoso. Ridotto a' suoi veri termini originarii, il ferretto componente la Groana non è che un bassofondo morenico marino, con prevalenza decisa di ciottoli porfirici. Come si concilia tutto questo coll'origine e coi rapporti già fissati per noi di quel vasto altipiano coll'anfiteatro morenico con cui confina a nord, e cogli antichi ghiacciai da cui l'uno e l'altro dipendevano? Il quesito non è difficile a sciogliersi. Lo stesso sig. Taramelli ci prestò il miglior argomento di una molto probabile, anzi per me certa conclusione, quando di presenza mi fece osservare che i porfidi della Groana corrispondono perfettamente a quelli che si trovano in posto a monte di essa, e non a grande distanza: corrispondono cioè ai celebri porfidi rossi del lago di Lugano. Ecco dunque come io spiego la cosa in generale, salvo l'attenderci da ulteriori studi le interessanti specialità che possiamo ripromettercí.

A nord-ovest dell'anfiteatro morenico di Como e dell'altipiano della Groana si trova il lago di Lugano, scavato si può dire in seno ai porfidi rossi, bruni e nerastri, i quali si distendono inoltre, occupando un'area vastissima, tra il lago di Lugano e il Lago Maggiore (1). È indicibile la facilità con cui quei porfidi si sfasciano sotto l'azione delle celesti intemperie. Quelle montagne sono talvolta fin quasi alla cima sepolte entro le frane da loro stesse generate. Si pensi quale sterminata copia di ciottoli e massi porfirici doveva accumularsi sul dorso del ghiacciajo che riempiva, come abbiamo veduto (2), il lago di Lugano. Si ricorderà il lettore che il ghiacciajo del lago di Lugano, nudrito da diversi rami confluenti dei due grandi ghiacciai dell'Adda e del Ticino, si riversava per due sbocchi verso il piano, cioè verso il mare d'allora. Il primo sbocco verso ovest era la valle di Arcisate, per cui l'antico ghiacciajo doveva trovare il mare tra Varese ed Appiano. Il secondo sbocco ad est era la valle di Mendrisio, per cui il ghiacciajo del lago di Lugano doveva fondersi a destra col ramo di Arcisate, e approssimarsi colla sinistra al grande ghiacciajo del lago di Como. Abbiamo già veduto come il ghiaccio occupasse il seno marino di Balerna, sicchè veniva a portare la sua fronte precisamente a contatto della grande morena esterna del-

e il Ticino soltanto, una estensione di ben 100 chilometri quadrati, senza contare la porzione ben maggiore che venne portata giù dai torrenti e dai fiumi.

Ma ognun sa quanto fangose siano le acque che sgorgano dai ghiacciai. Nell'epoca glaciale tutto lo scolo dei nostri giganteschi ghiacciai si versava immediatamente in mare, e vi deponeva i suoi fanghi. La quantità doveva essere enorme oltre ogni credere. Appena, dice l'Helland, vi sia una lingua di spiaggia tra il mare ed il ghiacciajo in Groenlandia, si vede subito uscir da esso una corrente fangosa, che si volge al mare. Del resto torrenti e torrentelli veggonsi sbucare dovunque, tanto dai fianchi dei ghiacciai che occupano i fiords come dalla massa del ghiaccio distesa sul continente. Pei fiumi glaciali di Jacobshavn li trovò contenere da 104 fino a 2374 grammi di fango per ogni metro cubico d'acqua. Dove va tutto quel fango? Naturalmente in mare.

Ma nei fiords, dove non c'è spiaggia tra il ghiacciajo ed il mare, e dove quello si avanza in seno a questo, non c'è nè torrente nè ruscello sulla fronte del ghiacciajo, e l'acqua del mare vi è limpida. Ciò vuol dire (cosa del resto semplicissima) che i torrenti e i ruscelli fangosi che si raccolgono per lo più sul fondo del ghiacciajo, vanno a metter foce in mare sotto lo stesso ghiacciajo. Il deporsi del fango sul fondo marino deve farsi con certa celerità, mentre, come abbiamo detto, il mare nei fiords è limpido anche dove scende il ghiacciajo. Ciò non toglie però che il fango non vi sia portato, e non si distenda largamente sopra il fondo marino disposto in un gran bassofondo, misto al maggiore detrito. Lo spessore e l'estensione di quel bassofondo dev'essere in proporzione della copia del fango che i torrenti traggono al mare. Per l'altipiano della Groana c'è questo di speciale, che le morene da cui esso dipende, erano morene littorali, per cui, lavate continuamente dall'onda marina, le cedevano la parte fangosa che andava ad aggiungersi al resto. Io non so se potrebbesi spiegare altrimenti la potenza enorme di quella massa fangosa che si distende principalmente tra il Lambro e l'Olona. Perciò la lavatura delle morene fossilifere già notata, e la quantità del fango negli altipiani che le limitano a sud, ci danno un nuovo e sicuro argomento dell'origine marina dell'anfiteatro morenico del lago di Como, e dei terrazzi che ne dipendono.

(1) Per avere un'idea della estensione delle masse porfiriche del lago di Lugano, e dei loro rapporti col terreno glaciale che si svolge a mezzodì di esse, gioverà consultare il foglio XXIV della gran carta geologica della Svizzera, eseguita da Spreafico, Negri e Stoppani, per commissione del Comitato Geologico Svizzero, pubblicata dall'istesso Comitato nel 1875.

(2) Vedi sopra, pag. 85, il § 5 intitolato *Appendice sul ghiacciajo dipendente dal lago di Lugano.*

l'anfiteatro di Como, sui limiti settentrionali del grande altipiano di Castelnovo (vedi la fig. 49), di cui la Groana non sarebbe, secondo il mio modo di vedere, che il prolungamento verso il mezzodì. Il ghiacciajo di Lugano doveva dunque in quel punto rovesciare in mare l'enorme carico de' suoi ciottoli porfirici. L'onda marina doveva necessariamente formarne una grande distesa ad ovest, ad est ed a mezzodì. Ma dalla parte di est l'onda era naturalmente arrestata dalla fronte del ghiacciajo di Como, che le opponeva il baluardo delle sue morene, formanti in oggi la terza cerchia esterna da noi precedentemente descritta. In altre parole il ghiacciajo e le morene di Como, tra Olgiate, Appiano, Cermenate, ecc., formavano la spiaggia del mare, al piede della quale veniva disteso il detrito marino, formando un bassofondo che doveva distendersi precisamente sull'area compresa in oggi tra l'Olona ed il Lambro ed occupata appunto dalla Groana. Ecco in qual modo i ciottoli porfirici dovettero costituire in modo prevalente l'impasto della stessa Groana, la quale, come abbiam detto, non è che un residuo di quel bassofondo. Non mancherò di notare come i ciottoli di porfido rosso sono sparsi in gran copia nella alluvione che forma la pianura a mezzodì della Groana e dell' altipiano di Castelnovo, come si può facilmente verificare percorrendo la campagna a nord-ovest di Milano sulla via, per esempio, da Rho a Magenta, e da Rho a Gallarate. La mia conclusione è questa.

L'altipiano della Groana non è che porzione del bassofondo littorale del mar glaciale, a' piedi delle Alpi, ossia porzione del deposito glaciale marino che si formava esternamente alle morene nell'epoca glaciale, sul fondo del prolungamento occidentale dell'Adriatico, convertitosi ora in pianura o valle del Po. L'isolamento della Groana è dovuto all' azione dei fiumi che agirono dopo il sollevamento, frazionando tutto il deposito marino che ricopriva il fondo dell' antico Adriatico.

Questa teoria porta naturalmente l' esistenza di un sistema di terrazzi alla base delle Alpi e degli Apennini, rappresentanti il fondo del mare glaciale sollevato, roso, frazionato in tanti altipiani grandi e piccoli, quanti sono i fiumi, i torrenti, i ruscelli, che hanno esercitato, di conserto col mare fuggente, e col Po che gli si andava sostituendo, per tanti secoli, la loro edacità. Per ciò che riguarda i terrazzi subalpini, ne abbiamo parlato in modo che potrebbe bastare. Per ciò che riguarda le basi dell' Apennino verso la valle del Po, basti per ora accennare come le sabbie gialle sovrapposte alle argille azzurre, cioè i così detti colli subapennini, formanti quella celebre zona, ritenuta pliocenica, che si distende tra la pianura e le montagne, non sono appunto che altrettante porzioni di un grande terrazzo, o altipiano corrispondente alla spiaggia o littorale marino dell' epoca glaciale, fabbricato probabilmente, almeno in parte, cogli elementi rocciosi che i ghiacciai confluenti dell' antico golfo gli portavano tutt' all' ingiro in tributo. Credo che il sig. Taramelli che, meco conversando, ha formulata, in un modo più o meno conforme a questo dettato, l'idea che qui di volo s'accenna, prepari un lavoro su questo argomento. Ne riparleremo quando saremo a trattare degli equivalenti del terreno glaciale.

IX.

CARATTERE MARINO DELL'ANFITEATRO MORENICO DEL LAGO MAGGIORE

Questo grande anfiteatro, già descritto (1), non fu soggetto finora di studî speciali in rapporto colla questione di cui ci occupiamo al presente. Il sig. Helland lo ha visitato nello scorso autunno, ma non so ancora se ne abbia tratto argomenti speciali per ritenere l'origine glaciale-marina (2). Io pure mi era portato a visitarlo nello scorso settembre; ma, avendo fatto male i conti col tempo che aveva disponibile, dovetti ripartire prima d'aver raggiunto i limiti delle argille plioceniche di Borgomanero e Maggiora, dove è probabile che si raccolgano dati

(1) Vedi sopra, Cap. V, § 3, pag. 69. — Nella mia gita da Ivrea ad Arona, eseguita nello scorso settembre (1876), ho potuto verificare diversi particolari relativi all'anfiteatro del lago Maggiore che sarebbero meritevoli di considerazioni. Ho trovato, per esempio, che l'anfiteatro, corrispondente a quel ramo laterale destro del grande ghiacciajo che riempiva il lago d'Orta, si fonde senza nessun intervallo coll'anfiteatro principale tra Borgomanero ed Arona. L'anfiteatro del lago d' Orta fa del resto da sè, ed è perfettissimo specialmente quando si osservi nell' interno, cioè nella concavità verso il lago, la cui metà a mezzodì vi è compresa come da regolarissimo recinto che si eleva sui fianchi delle montagne, tanto a occidente come ad oriente, formando dei terrazzi morenici stupendi. Arola, per esempio, ad occidente del lago, sorge precisamente sopra un altipiano morenico, che ha la forma di un colossale gradino e rappresenta il ciglione più alto del recinto. La morena frontale, che chiude il lago a mezzodì, ha la forma di un terrazzo, od altipiano morenico, di cui si ragiona nel testo.

(2) L'impressione generale che il signor Helland riportò dal suo viaggio nella regione dei nostri anfiteatri morenici è questa (come fu già accennato), che essi furono eretti sul fondo del mare da ghiacciai i quali, come i moderni della Groenlandia e gli antichi della Norvegia, scendevano al mare, e vi si tuffavano profondamente. A togliere ogni dubbio sulle opinioni del signor Helland, in attesa della pubblicazione che egli ne farà certamente, mi giunge opportunissimo l'estratto di una lettera da lui diretta all' illustre Desor, dalla quale comincio a togliere il brano seguente, riserbandomi di trascriverne altri più sotto, ancor più espliciti ed importanti. Ecco le parole testuali dell' uomo che ha studiato più profondamente di nessun altro i ghiacciai marini antichi e moderni: « Ich glaube dass » das Meer und die Gletscher sich in Italien begegnet haben, und zwar wie ich es bei dem Gletscher » Sermiasut in Grönland gesehen habe. Dieser Gletscher geht mit einer steilen Wand ins Meer hinaus. » Das Meer ist hier seicht, und wird immer seichter; denn von dem Gletscher fallen fast continuirlich » Steine der Moräne fast an der Oberfläche des Meeres. Die Seethiere die hier sterben, werden na- » türlich von den herabfallenden Steinen in der Moräne begraben. *Nur auf diese Weise kann ich* » *mir erklären, wie die Fossilien in die Moräne bei Fino gekommen sind, ohne zerstört zu werden.* » Auch in Norwegen (*Vedi sopra* a pag. 165), in einem Fjorde (Jokelfiord), habe ich einen Gletscher » gesehen, der eine Moräne ins Meer ablagert. Auch hier fällt oft das Eis ins Meer hinaus, und wenn » da Fische in der Nähe sind, so werden sie von dem herabfallenden Eise erreicht und todt geschlagen. » Dass die Moräne, die zum Theil über dem Meeres Spiegel hervorragt, Fossilien enthalten kann, ist » natürlich. »

sufficienti per stabilire tra il terreno glaciale e il marino quegli stessi rapporti che con tanta evidenza si poterono stabilire a Balerna, a Camerlata e ad Ivrea. Il futuro deciderà se le mie previsioni siano o no avventate. Non c'è verun dubbio, ad ogni modo, che l'anfiteatro morenico del lago Maggiore, collocato immediatamente tra due (quello del lago di Como e quello della Dora Baltea) in cui il carattere marino è così spiccato, non sia ugualmente marino. Intanto, se vale un'osservazione ch'io ho potuto fare di passaggio, un primo argomento di fatto dell'origine glaciale-marina dell'anfiteatro del lago Maggiore l'avrei nella forma della porzione frontale dell'anfiteatro laterale del lago d'Orta.

Prego il lettore a ricordare la forma speciale che presentano le morene che fanno barriera verso il mare ad alcuni laghi della Norvegia. Abbiamo veduto come talvolta esse morene, conservando pure tutti i caratteri che distinguono questo genere di formazioni, non hanno punto la configurazione esterna delle morene ordinarie, presentando invece quella del terrazzo, ossia dell'altipiano. Questo dipende dall'azione prevalente del mare, che demoliva la morena formantesi nel suo seno, distribuendone il materiale, senza molto alterarlo, ma quanto solo bastasse a trasformare il cumulo morenico in bassofondo piano. Or bene è appunto questo carattere delle morene marine che, se ho visto sufficientemente, distingue la grande morena frontale dell'anfiteatro d'Orta.

Approdando, come io feci il 9 settembre scorso, a Bissone, all'estremità meridionale del lago d'Orta e prendendo la via che mena dritto a Borgomanero,

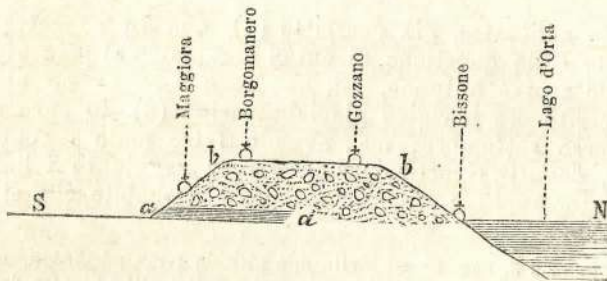



Fig. 53. — Profilo di terrazzo morenico frontale del lago d'Orta.

a — Argille plioceniche di Maggiora. *b* — Terreno morenico.

si sale dapprima la ripida china, ossia la scarpa interna del regolarissimo anfiteatro che discende fino al lago. Benchè il luogo sia tutto coltivato, la struttura morenica si rivela dappertutto benissimo, ed è rimarchevole sopratutto l'abbondanza dei massi erratici, che a mille a mille sparsi nella campagna e lungo la via, si mostrano principalmente verso la sommità e sul piano superiore dell'anfiteatro. Così si arriva a Gozzano, che è appunto sul piano superiore, e, come direbbesi, sul ciglione della morena. Ma dove mi aspettava di vedere tra breve discendere la china opposta, come avviene tutte le volte che si scavalca la cresta di una morena o d'un anfiteatro morenico, mi trovai invece sopra una piattaforma regolarissima, morenica in tutto e per tutto, sparsa ovunque di massi erratici, che continua in forma di piano appena ondulato fino a Borgomanero. È indubitato che le argille plioceniche di Maggiora debbono trovarsi alla base dell'altipiano, sottoposte al terreno morenico, come esprime in via ipotetica il diagramma rappresentato nella figura 53.

Vi è un altro carattere che attesta ancor più direttamente l'origine marina dell'anfiteatro morenico del lago Maggiore. Parlo di quella stratificazione che dal Sordelli è ritenuta come un fatto che esclude l'idea di una formazione morenica e che invece nelle morene sottomarine si concilia così bene colla loro struttura cao-

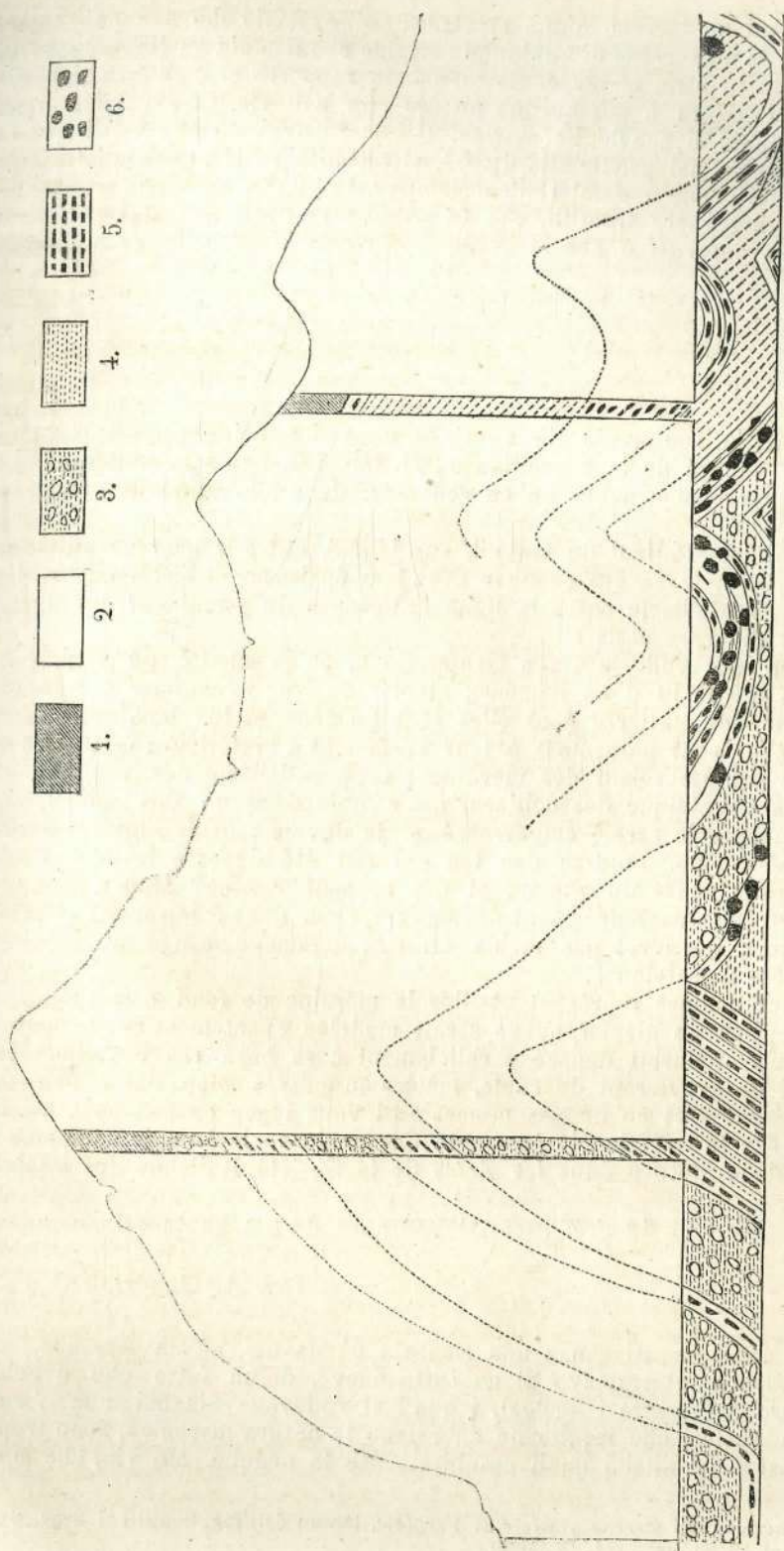



Fig. 54. — Profilo geologico della galleria di Vergiate (Ferrovia Gallarate-Sesto Calende).

1. Terreno vegetale. — 2. Litta (argilla fangosa scorrevole). — 3. Litta compatta con ciottoli. — 4. Argilla, litta e sabbia. — 5. Argilla con vene sottilissime di sabbia. — 6. Massi erratici specialmente di granito.

tica, dando luogo ad un terreno d'una struttura così speciale che non può essere nemmeno simulata da un terreno di qualunque origine che non sia quella appunto di una morena deposta in seno al mare. Sotto questo rapporto si può dire che l'anfiteatro del lago Maggiore è più marino ancora che non sia quello del lago di Como, benchè seminato di conchiglie marine. Il lettore avrà un saggio di questa stratificazione morenica nel profilo alla fig. 54, altrettanto esatto, quanto istruttivo e convincente, che mi venne fino dal 1865 accompagnato dalla seguente lettera dirrettami dal signor ingegnere Gentilli, che fu pubblicata negli *Atti della Società Italiana di scienze naturali* e che io credo opportuno di qui riferire nella sua integrità.

Milan, 23 décembre 1865.

Monsieur,

« En creusant le souterrain de Vergiate dans les collines dites Il Gruppetto, l'ingénieur chargé de la surveillance, M. Faccioli, eut soin d'indiquer les inclinaisons des différentes couches qu' on rencontra dans les puits de service et dans la galerie même.

« Or, le profil longitudinal du travail, sur lequel, outre le contour exact de la surface du sol, on a tracé ces couches avec leur épaisseur et inclinaison réelle, offre un frappant parallélisme entre la ligne extérieure du terrain et les lignes de séparation des diverses assises.

« La position des collines du « Gruppetto », en proximité du bassin du lac Majeur, qui a été le lit d' un immense glacier ancien; la conformation de ces collines; la qualité des matières dont elles sont formées et les nombreux blocs erratiques, dont elles sont parsemées à leur surface et à l'intérieur: mettent hors de doute que ces collines soient des moraines; le parallélisme des couches, en vue de la nature morainique des collines, me semble donc un fait qui mérite d'être signalé, quoique je serais embarrassé si je devais fournir l'interprétation exacte de ce phénomène. Sont-ce des tas qui ont été déposés isolément aux différentes époques d' arrêt du glacier et qui se sont fondus? Mais ceci n' expliquerait que l'étrange contournement des assises, sans nous éclairer sur la cause de leur parallélisme, qui n'est pas moins étrange lorsqu'on songe au désordre habituel des dépôts morainiques.

« Ou bien ces collines représentent-elles la moraine de fond correspondante à une même extension du glacier, qui se serait modelée exactement sur le contour du soussol rocheux et aurait déposé parallèlement à sa base ces couches alternantes de glaise, de gravier et de sable, mêlées en masses compactes et épaisses, ou isolées, incohérentes et en nappes minces? Si vous jugez ce fait apte à jeter quelque lumière sur la question intéressante des anciens glaciers, je vous prie de l'insérer à titre de « Note » dans les *Actes* de la Société Italienne des sciences naturelles.

« Veuillez agréer, M. le Professeur, l'assurance de ma haute estime. »

Ing. A. GENTILLI (1).

Dodici anni sono passati senza una risposta nè da me, nè da nessuno, alla riferita lettera. Eppure si trattava di un fatto nuovo, di un fatto che avrebbe dovuto colpire profondamente i geologi, i quali si vedevano dinanzi una formazione in cui, ai caratteri che meglio ne affermano la natura morenica, sono troppo evidentemente associati altri i quali assolutamente la negano. Ma via, che si do-

(1) *Sopra un fenomeno del terreno glaciale di Vergiate*, lettera dell'Ing. Gentilli al Segr. Stoppani (Atti d. Soc. Ital. di Sc. nat., vol. IX, 1866).

veva rispondere? Finchè i nostri anfiteatri erano considerati come composti di morene esclusivamente terrestri, per le quali (prescindendo da qualche apparenza o sfumatura di stratificazione) la struttura caotica è di rigore, non valeva nemmeno la pena di stillarsi il cervello per spiegare ciò che, se non si fosse trattato di un fatto certo, esposto e dilucidato colla più ineccepibile precisione, doveva dirsi impossibile. Ora la risposta è facile e, dopo sì lungo silenzio, mi sento in dovere di darla, ed eccola. — Gli anfiteatri morenici della Lombardia e del Piemonte sono composti quasi interamente di morene sottomarine o littorali. La loro stratificazione, si compia più o meno regolarmente, è una necessità. Quella porzione di anfiteatro dell'antico ghiacciaio del lago Maggiore che corrisponde alle morene di Vergiate offre un esempio di stratificazione che presenta un grado singolare di regolarità. Esso non supera però quello che dovrebbero presentare dei cumuli di materiali incoerenti che si formassero sul fondo del mare, per la successiva sovrapposizione di massi, ciottoli, ghiaje e sabbie che cadessero dall'alto, come sarebbe il caso appunto di un ghiacciajo emergente dal mare, che vi lasciasse cadere il detrito formante le sue morene, di cui il mare stesso aiutasse, più o meno energicamente, la distribuzione. I ciottoli striati e i grossi erratici, confusi col detrito più fino e più regolarmente stratificato, ribelli all'azione meccanica delle onde, starebbero però sempre ad attestare l'origine morenica della formazione, impedendo di confonderla colle alluvioni o con qualunque formazione d'altra origine. Le morene di Vergiate insomma non sono che morene sottomarine ed attestano l'origine marina del vasto anfiteatro a cui appartengono.

X.

CARATTERE MARINO DELL'ANFITEATRO MORENICO DELLA DORA BALTEA

L'anfiteatro morenico della Dora Baltea, che piega il suo arco maestoso davanti ad Ivrea, venne precedentemente descritto in tutti i suoi particolari (1). Quella cerchia meravigliosa disegna ben di certo l'apparato frontale di un antico ghiacciajo. Questo d'Ivrea è anzi il primo anfiteatro morenico dei versanti italiani che sia stato descritto. Quanti parlarono in seguito di epoca o di terreno glaciale, ebbero per tema obbligato di citarlo come modello di anfiteatro. Non perchè lo sia più o meno degli altri, di quello, per esempio, a cui appartengono i tratti di morene fossilifere di Cassina Rizzardi, Ronco, Caccivio, ecc., e quelli che si fondono colle argille plioceniche marine di Balerna. Ma sia lodato Dio! chè questa volta non si vorrà negare che si tratti veramente di morene e di anfiteatro morenico.

Mi sia permesso d'incominciare con alcuni periodi della mia *Nota sui rapporti del terreno glaciale col pliocenico nei dintorni di Como*, letta alla *Società italiana di scienze naturali* nella seduta del 25 aprile 1875, dove esprimeva le mie prevenzioni in favore dell'origine marina di quell'anfiteatro, basandomi sopra una *Nota* del sig. Gastaldi (2) allora appena pubblicata contro il sig. Desor, per quanto questi avea scritto a proposito delle scoperte fatte in Lombardia.

« Il y a, scrive il prof. Gastaldi, une vingtaine d'années, que M.r A. Sismonda, qui n'a jamais cru et qui ne croit pas à l'ancienne extension des glaciers alpins, disait: Comment voulez-vous que la Serra et les autres collines qui entourent Ivrée soient d'anciennes moraines, puisqu'elles *renferment à leur base des fossiles marins* du pliocène? (3). — Moi-même, dans les Mémoires que j'ai publiés sur le terrain erratique du Piémont, j'ai signalé quelque part la présence de la marne pliocénique avec des débris de coquilles marines en contact immédiat avec de débris morainiques dans l'intérieur de l'amphithéâtre d'Ivrée, entre

(1) Vedi sopra, a pag. 69.

(2) *Sur les glaciers pliocèniques de M.r E. Desor* (Atti della R. Accad. di Torino, Vol. X, 21 febbraio 1875).

(3) E dire che era vero, propriamente vero, ciò che diceva il prof. Sismonda più di vent'anni fa.... Quanto letteralmente lo fosse, lo vedremo più sotto; ma allora non si poteva rispondere al sig. Sismonda così: — perchè i ghiacciai sboccavano in mare. — Ma ora che si può dargli questa risposta, se non può più il sig. Sismonda negare gli antichi ghiacciai, non potrà nemmeno il sig. Gastaldi negare che quei ghiacciai fossero marini, e dovrà sopprimere il suo *diluvium*.

Mazzè et Vische, sur la droite de la Dora Baltea. Mais », continuo colle parole del Gastaldi « il ne s'agit pas ici de la nouveauté, ou non, du fait: il s'agit plutôt de la manière de l'interpréter. »

« Si potrebbe domandare: — Perchè passarono inavvertiti i fatti citati dal signor Gastaldi, mentre si mena tanto rumore dei fatti simili raccolti recentemente in Lombardia? — La cosa s'intende assai facilmente. Il contatto delle morene con un terreno qualunque, tanto più col pliocenico a piè delle Alpi, non ha nulla per sè di specialmente rimarchevole; nè il prof. Gastaldi, preoccupato dalle sue idee a tutti note, era nelle migliori disposizioni per avvertire ciò che per avventura poteva assai prima d'ora svegliare l'attenzione dei geologi su ciò che rende specialmente interessante quel ch'egli chiama semplicemente *contatto immediato* degli strati marini pliocenici coi detriti glaciali. Ma ora, almeno in Lombardia, non trattasi più di semplice contatto, e, per forza di analogia, *c'è da scommettere che anche in Piemonte questo semplice contatto si risolva in quella serie brillantissima di fatti, da cui risulta che gli antichi ghiacciai mettevano capo nel mare pliocenico, sicchè si mescolarono, si fusero insieme gli strati superiori delle argille marine e i rigetti inferiori dei ghiacciai; che questi prevalsero; che alle sabbie, le quali si deposero sopra le argille marine a' piedi dell'Apennino, si sostituirono ai piedi delle Alpi gli strati misti marino-glaciali.*

« In attesa che quanto io suppongo, *colla fermezza di una decisa convinzione*, si verifichi in Piemonte, io credo che anche il signor Gastaldi, meglio informato ora dalla mia Memoria, che nol fosse dalla comunicazione non esattissima del signor Desor alla riunione di Coira, non possa più rifiutarsi a riconoscere come stabiliti in Lombardia, nel senso suddetto, i rapporti immediati fra l'antico mare e gli antichi ghiacciai, fra gli strati pliocenici ed i depositi glaciali. »

Così adunque io scriveva, forse non senza audacia, al principio del 1875, prima di essere in sul posto a verificare i fatti, e prima d'averne comunicazione altrimenti che dalla Memoria citata dal signor Gastaldi. — Fu soltanto al principio del settembre 1876 ch'io mi decisi a visitare quei luoghi, sperando di trovarvi qualche fatto conforme alle mie idee, ma ben lontano dallo sperarne, come ve la trovai, la più luminosa conferma.

Giunto ad Ivrea il 4 settembre, ed espresso all'egregio signor Luigi Bruno (1) lo scopo del mio viaggio, non è a ripetere quanto ebbi a sentirmi piacevolmente colpito quando, alle prime parole, quel distinto geologo ebbe a dirmi che l'anfiteatro di Ivrea non era già un anfiteatro glaciale, ma *un cordone littorale*. « Io ci trovo » mi soggiunse « conchiglie marine dappertutto ». Fummo però ben tosto intesi su questo: che egli, esprimendosi a quel modo, non voleva punto negare l'origine glaciale della famosa Serra, nè del detrito componente il resto dell'anfiteatro; intendendo soltanto d'affermare che la massima parte dell'anfiteatro stesso, formandosi in mare, aveva preso i caratteri marini talmente da potersi considerare come un gran cordone littorale.

In seguito non avemmo che a verificare i fatti nei due giorni seguenti, spesi nel percorrere l'anfiteatro pel lungo e pel largo, servendomi egli di guida del pari gentile che illuminata: del che me gli professo infinitamente obbligato.

Prego il lettore a seguirmi nell'esposizione che farò dei fatti raccolti girando l'anfiteatro dalla sua estremità occidentale all'orientale, passando pel punto più avanzato della curva verso mezzogiorno, dove trovasi il paese di Mazzé. Gli servirà all'uopo di guida lo schizzo geologico (fig. 55) che lo prego a tenersi sott'occhio. Esso è delineato in base alla *Carta geologica del bacino morenico d'Ivrea*, pubblicata dal sullodato signor Luigi Bruno (2).

(1) L'ingegnere Luigi Bruno, distinto geologo, conosce palmo per palmo l'afiteatro morenico d'Ivrea e tutta la provincia d'Aosta, avendone eseguita una minutissima carta geologica di gran pregio.

(2) Il sig. Luigi Bruno ha eseguito pel *Comitato geologico italiano*, dietro incarico speciale del signor prof. Gastaldi, il rilevamento geologico della Valle d'Aosta, compresovi l'anfiteatro morenico d'Ivrea. Devo alla sua gentilezza una copia geologicamente colorata del foglio N. XXXIX della gran

Chi parte da Ivrea e, attraversata la Dora, cammina nella direzione di sud-ovest lungo la via che conduce a Quagliuzzo, quando abbia sorpassata la fila dei colli di diorite stupendamente arrotondati che sorgono dall'arena dell'anfiteatro (1), si trova bentosto contro il rilievo che forma l'estremità occidentale

Fig. 55. — Schizzo geologico dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea.

della morena. Benchè essa non si elevi da questa parte tanto come dalla parte opposta dove è chiamata La Serra, non si rizza per ciò meno ad una altezza di un centinajo di metri in forma di muraglia enorme che si appoggia alle montagne dioritiche che la terminano a nord. Nulla di speciale fu notato fin qui da quella parte alla superficie della morena. Essa non vi presenta che i soliti caratteri di morena terrestre, dove i massi erratici, angolosi, intatti, sovente marini, sporgono dovunque da uno sfasciume caotico. I campi e i boschi che la rivestono impediscono, almeno a chi l'osserva di passaggio, di studiarne partitamente l'interna struttura. Presto però ci troviamo al Ponte dei Preti, gettato sulla Chiusella, tra

Carta topografica del Piemonte alla scala di 1:50000, che comprende appunto l'anfiteatro suddetto. Lo stesso sig. Bruno ne pubblicò uno schizzo litografato e un altro fotografato, sul quale è specialmente delineata la fig. 55. Ho però creduto bene di semplificarla, sopprimendovi la distinzione litologica delle formazioni rocciose allo sbocco della valle d'Ivrea, ed altre specialità che non hanno importanza pel caso nostro. Basterà di sapere che la Dora Baltea sbocca ad Ivrea da una chiusa che incide profondamente una grande barriera di dioriti che incrocia il fiume, e a cui principalmente si addossano le due estremità del circo morenico. Ho adottato questa semplificazione perchè meglio vi campeggiasse nella sua grandiosa semplicità la cerchia morenica. Dei due tratteggi, perpendicolare ed orizzontale, con cui è disegnata la massa morenica, il primo indica approssimativamente la forma di morena terrestre; il secondo quella di morena sotto-marina o littorale: essendo queste due forme mirabilmente distinte ed associate nella perfetta unità di quel grande anfiteatro, riconosciuto e citato da tutti come tipo di un'enorme morena frontale. Il tratteggio a linee oblique indica i rilievi rocciosi, composti per la massima parte di dioriti arrotondate dall'antico ghiacciajo.

(1) Vedi *Tavola* XI.

Quagliuzzo e Baldissero, dove quel ricco confluente, sboccando anch'esso da una chiusa aperta nella diorite, taglia la morena precisamente da ovest ad est e, percorso un certo tratto dell'arena dell'anfiteatro morenico, si getta nella Dora. Questo punto è di un interesse veramente capitale per la quistione che ci occupa.

La gola della Chiusella, come abbiam detto, è incisa nella diorite. Sulla diorite posa quella massa enorme di detrito alpino, che noi chiameremo per ora semplicemente morena. Però, tra la diorite, che forma il letto del torrente, e la morena, si osserva una formazione che ha l'aria di un deposito affatto locale e che cercheremo di descrivere alla meglio.

Questo deposito, che supera di parecchi metri l'altezza del ponte, e forma in quel luogo le sponde dirupate e quasi a picco del torrente, consta fondamentalmente di un conglomerato di ciottoli e di massi, tra i quali si nota una decisa prevalenza di quelle stesse dioriti, entro le quali è scavata la gola, e che sono così enormemente sviluppate sulla destra del torrente, formando la base abbastanza visibile tanto del conglomerato come della morena, ed uscendo disotto a questa per formare le montagne che le sovrastano tra Brosso e Colleretto Parella. Nel letto della Chiusella i massi sono assai grossi, e vi formano, direi, una catasta sfasciata, nella quale evidentemente si confondono quelli che appartenevano originariamente al conglomerato con quelli della stessa o di diversa natura che vi caddero dalla morena, la quale superiormente fiancheggia la gola. Sulle sponde tuttavia (e ciò è principalmente osservabile sulla sinistra) ciottoli e massi formano dei banchi irregolari ma stratificati, d'indole torrenziale, cementati da un calcare che è tutto un impasto od un tritume di conchiglie marine. Queste conchiglie (Solen, Cardium, ecc.) presentano evidentemente il *facies* di una fauna pliocenica recente. Talora il calcare si isola in strati o porzioni di strati abbastanza regolari, assumendo allora l'aspetto dei calcari subapennini recenti (di quello, per es., della collina di S. Colombano), sicchè si piglierebbe a prima giunta per un travertino. Non è ancora ben definito quale sia lo spessore di quella formazione, nè per quali transizioni passi alla morena che lo ricopre, avendolo finora impedito l'incomposto sfasciume accumulato sulla superficie.

È tuttavia evidente che qui si tratta di un cono di dejezione, eminentemente torrenziale, formato dalla Chiusella, quando il torrente si gettava in mare in quel punto. Le conchiglie marine, ammassatevi in tanta copia da costituire una vera formazione, mostrano quanto quel mare fosse popolato. È chiaro in pari tempo che il cono di dejezione era allora tuttavia sommerso e battuto dal mare, formandovi un basso fondo, sul quale il mare stesso buttava e abbandonava il tritume conchigliaceo scopato da maggiore profondità, riempiendone gli interstizi tra ciottolo e ciottolo, di cui diventava cemento. Può quindi ritenersi come cosa certa che verso oriente (cioè verso l'antico mare nel quale metteva foce la Chiusella non ancora divenuta confluente della Dora) si deve trovare, ad un livello inferiore al cono di dejezione, quel fondo sabbioso, che sempre precede, nei mari e nei laghi, i coni di dejezione, e segna l'avanzamento subacqueo dei delta marini o lacustri. Raccolsi intanto che a Colleretto Parella, circa 3 chilometri a nord-est dal punto dove siamo, scavandosi un pozzo, si incontrarono, sotto 5 metri di terreno morenico, delle sabbie vive, perfettamente lavate, il cui limite inferiore non fu raggiunto alla profondità di circa metri 35, dove arrestossi lo scavo.

Non vogliamo indagare se (come diventerà molto probabile per ciò che diremo più sotto) quel conglomerato torrenziale o cono di dejezione, contenente dei massi enormi che difficilmente si potrebbero supporre rotolati da un torrente, fosse già morena frontale sotto-marina, appartenente al ghiacciajo della Chiusella, indipendente da quello della Dora, col quale si fuse più tardi per formare un solo anfiteatro. Non vogliamo indagare se almeno la Chiusella sboccasse come torrente dal ghiacciajo, che terminava appena più in su, e perciò ne investisse la morena frontale, trascinando al mare vicino anche i grossi massi, con quella

foga che si addiceva ad un torrente nutrito da un ghiacciajo di così grande potenza (1). A me basta di stabilire come punto di partenza il fatto, che la Chiusella percorreva, come dissi, una gola, anzi la stessa gola incisa al presente nella diorite, in un tempo in cui l'orografia locale (salvo il rilievo morenico e il sollevamento della regione avvenuti posteriormente) era come oggi, e che, immediatamente prima che si formasse l'anfiteatro morenico che incombe in quel punto al conglomerato torrenziale-marino, il mare giungeva e terminava in quel punto stesso, occupando per ciò tutta la pianura (cioè la valle del Po) e tutta l'area sulla quale sorge ora l'anfiteatro suddetto. Che ne avvenne in seguito? Lo vedremo ben tosto, portandoci a meno di due chilometri ad est del Ponte dei Preti nel luogo detto la Borra grande, immediatamente sulla destra della Chiusella in faccia a Quagliuzzo.

La Borra grande (2) non è altro che un burrone d'erosione, scavato dalle acque pluviali che hanno inciso profondamente il lembo interno dell'anfiteatro, sopra una lunghezza di forse 200 metri e una larghezza variabile da 15 a 30, mettendone a nudo l'interna struttura, con una sezione naturale dell'altezza di 50 metri o giù di lì. Questa erosione, che giunge quasi al livello della Chiusella, nella quale si scarica immediatamente il torrentaccio che si forma in seguito a grandi piogge, non intacca adunque che la base dell'anfiteatro, che si eleva ancora più centinaja di metri sopra il ciglio del burrone. Il letto della Borra grande, piuttosto che a quello di un torrente, si assomiglia ad un *talus* di dejezione, ossia ad un cumulo di sfasciume formato di materiali che si staccano ad ogni pioggia immediatamente dalle pareti verticali o strapiombanti che la fiancheggiano. Perciò gli elementi componenti quello sfasciume si mostrano in genere così freschi e intatti, come fossero allora allora caduti dalle pareti formate di un ammasso quasi incoerente. Massi di forma glaciale talora enormi sporgono nudi da un tritume minore costituito di ciottoli perfettamente lisci e striati, di minuto detrito e di sabbia. Sparsi dovunque si raccolgono in copia piccole conchiglie e frantumi di grosse, come *Columbella*, opercoli di *Turbo rugosus*, pezzi di *Venus umbonaria*, ecc. Tanto ai ciottoli striati quanto alle conchiglie aderisce ancora la sabbia gialla, da cui gli uni e le altre si svolsero; come è facile il convincersene da ciò che siamo per dire.

Difatti la formazione entro la quale è incisa la Borra grande non è altro

(1) Non ho nessun dato per stabilire la potenza dell'antico ghiacciajo che dovette assai probabilmente discendere dalla Val Chiusella. Ma, supposto anche che non sia esistito, o che non discendesse fino allo sbocco attuale del torrente, l'orografia e lo sviluppo del terreno morenico ci accertano che l'enorme ghiacciajo della Valle d'Aosta, arrivato a breve distanza da Ivrea, doveva biforcarsi contro l'ostacolo opposto dal rilievo calcareo e dioritico che forma la piccola catena molto elevata da Colleretto Parella a Lessolo (vedi la *Tav. XI*) ed insinuarsi con un grosso ramo occidentale nella depressione che si allarga tra Lessolo e Brosso, cioè tra la piccola catena suddetta e l'altra maggiore di sienite e micaschisti, che si eleva a nord di Brosso. Quel ramo colossale di ghiacciajo, a cui si deve la formazione della porzione occidentale dell'anfiteatro morenico, dovette riunirsi al ghiacciajo della Val Chiusella, nel caso che realmente esistesse, ed occuparne insieme la gola, di là procedendo, riunito o solo, verso sud, finchè si fosse ricongiunto col tronco principale del ghiacciajo che seguì la valle della Dora. Era adunque, propriamente parlando, il ghiacciajo della Dora che veniva a sboccare dalla Val Chiusella nel punto dove trovammo il conglomerato conchiglifero. Il supposto ghiacciajo proprio della Val Chiusella doveva essere in ogni caso molto inferiore di potenza a quel gran ramo del ghiacciajo della Dora, quindi terminar prima e cedere a quest'ultimo tutte le sue morene, come è il caso di tutti i confluenti di un ghiacciajo maggiore. Ecco perchè l'anfiteatro d'Ivrea non mostra di essersi risentito di quel confluente, ma disegna un arco così stupendo e regolare, come è il caso degli anfiteatri formati da un solo ghiacciajo. Quest'arco comincia ad occidente, precisamente colla depressione tra Lessolo e Brosso, per cui passava la gran morena destra del ghiacciajo della Dora. In seno ad esso, nel periodo degli anfiteatri, la catena dioritica del Colleretto e Lessolo formava un'isola. Allorchè adunque si parla di un ghiacciajo della Chiusella che sboccava al Ponte dei Preti o in vicinanza ad esso, e forniva i grossi elementi del conglomerato conchiglifero, si deve intendere a preferenza il ramo destro del ghiacciajo d'Ivrea, quando non era ancora operata la sua congiunzione col tronco principale, e prima che i due rami riuniti gettassero le fondamenta dell'anfiteatro sul fondo del mare.

(2) *Borra* e *borro* sono sinonimi di piccolo torrente a breve corso, inciso preferibilmente in terreno mobile.

che una massa di sabbia gialla, talvolta molto sudicia, più o meno regolarmente stratificata, sparsa di conchiglie marine, di ciottoli lisciati e striati, di *galets* o ciottoli in forma di piastrelle discoidali e di massi d'ogni forma e dimensione, formanti tutti insieme un complesso uno ed indivisibile, benchè vario nelle sue parti, con prevalenza or qua or là di elementi indubbiamente glaciali o di altri evidentemente marini. È tale formazione che il descriverla non è agevol cosa certamente. Perchè il lettore se ne formi un'idea e veda come, prescindendo da infinite specialità, si tratti veramente di una formazione costituente la base di una morena, che comincia allora allora ad elevarsi sul fondo del mare, e sorge e si accresce, acquistando sempre meglio i caratteri che l'avvicinano ad una morena terrestre (1), gli pongo sott'occhio la sezione della Borra grande, non ideale ma reale, quale cioè l'ho, benchè molto imperfettamente, delineata in sito, sotto gli occhi e coll'ajuto del signor Bruno (2).

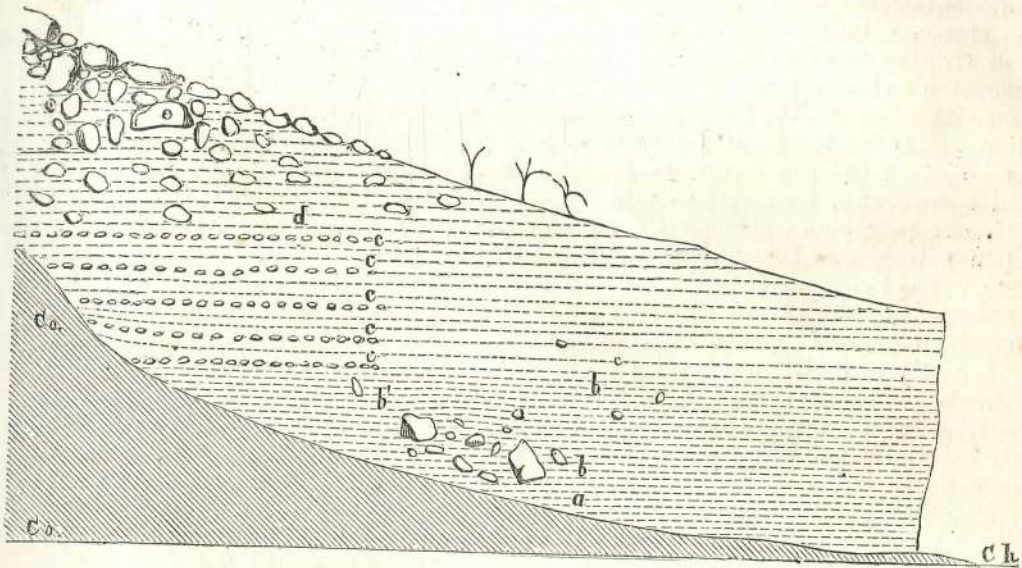



Fig. 56. — Sezione geologica della Borra grande.

a. Banco di *Venus umbonaria* in sabbie gialle. — *b b*. Le stesse sabbie gialle con fossili marini scarsi e rari ciottoli. — *b'*. Gran gruppo di massi angolosi e di ciottoli striati nei banchi di sabbia suddetti, che discende quasi a contatto col banco di *Venus umbonaria*. — *c c*. Letti regolari di ciottoli a piastrelle discoidali misti a ciottoli striati interposti alle sabbie gialle. — *d*. Banchi di sabbia con grande quantità di massi e ciottoli glaciali che passano al gruppo seguente. — *e*. Ammasso di ciottoli e massi d'aspetto perfettamente morenico. — *Ch*. Chiusella. — *Co*. Letto della Borra grande quasi cono di dejezione.

Allo sbocco della Borra, dove è stretta tra due pareti a picco, si levano a grande altezza le sabbie gialle, che costituiscono fondamentalmente il deposito. Sono quasi pure in quel punto, ma qualche grosso ciottolo vi è sparso qua e colà. Mano mano però che c'interniamo, le sabbie, mantenendo tuttavia la stratificazione orizzontale, perdono assai della loro purezza: i ciottoli vi spesseggiano, poi pre-

(1) Richiamo, pei caratteri delle morene sottomarine, quanto fu stabilito, tanto in via pratica che in via presuntiva, nel Cap. VIII.

(2) La sezione (fig. 56) non ha nessuna pretesa di precisione quanto a misure di altezza, spessore e numero di strati, ecc. È però sostanzialmente precisa e fedelissima per riguardo ai fatti fondamentali che vi sono espressi, e possono verificarsi da chicchessia, salvo il raccogliervi, chi ci andasse, un numero infinito di particolari, che verranno naturalmente variando, man mano che si avanza il processo assai rapido di erosione, ma non potranno mai smentire quanto qui si asserisce, ed ha per sè le testimonianze del sig. Bruno, il quale studia da lungo tempo quel sito, e del sig. Helland, che vi si portò più tardi dietro mia raccomandazione, come meglio diremo più sotto.

valgono sulle sabbie, finchè tutto diviene, specialmente in alto, un caos di ciottoli e di massi che danno al deposito l'aspetto di una morena sabbiosa. Nell'impossibilità, come dissi, di tener dietro a tutte le transizioni, noteremo le più importanti specialità. La prima è che nel punto *a*, a livello della Borra, il quale si presenta come un *talus* di dejezione, dove la sabbia è ancor pura o quasi pura, si presenta un ammasso, un vero banco di grosse bivalve, intatte, colle due valve riunite, appartenenti alla *Venus umbonaria* Lk. (1). Si badi che quelle bivalve sono proprio in posto, e miste ad una quantità d'altre conchiglie perfettamente conservate. I fossili si fanno molto più rari superiormente; ma sempre ne notammo di molti, io e il sig. Bruno, fino all'altezza di parecchi metri negli strati *b b*; sicchè è indubitato che la massa degli strati *a b*, tutta identica per identità di natura, di colore e di fossili, è formazione sotto-marina, che comprende anche gli strati superiori, chissà fin a quale altezza, come vedremo. È in quelle sabbie così evidentemente marine, presso quel banco di *Venus*, probabilmente dentro il banco stesso, e indubbiamente poi entro gli strati fossiliferi *b b* che si trovano ciottoli striati e massi evidentemente glaciali. Chiamo l'attenzione del lettore sopra un gruppo di ciottoli e massi angolosi, che quasi per sorpresa viene a rompere l'uniformità delle sabbie gialle, invadendo gli strati fossiliferi *b*, *b*, e scendendo quasi a toccare il banco di *Venus* in *a*. I grossi massi erano affatto angolosi, e fattomi ajutare dal sig. Bruno ad aggrapparmi a quella porzione di parete a picco da cui sporgevano, ne trassi di mezzo ad essi dei ciottoli glaciali così lisci e striati, che potrebbero collocarsi come tipici in qualunque museo (2).

Chi potrebbe negare adunque che sul fondo del mare, ancora pacificamente abitato dalla *Venus umbonaria*, e dal ghiacciajo che si avanzava a ricoprirlo, rovinasse quel pezzo di morena, e chi sa quanti altri, mentre, ripeto, vedremo sempre meglio che l'anfiteatro d'Ivrea è tutto, fino a grande altezza, nel modo stesso formato? Stiamo infatti a vedere ciò che risulta dall'esame della Borra grande in altri punti.

Partendo dal gruppo degli strati *a b*, e internandoci nel burrone, i ciottoli striati e i massi non c'è più fatica a cercarli. Le sabbie ne rigurgitano, costrette molte volte in basso e in alto a cedere il luogo al puro detrito morenico. Ma si badi quanto il processo di colmata di quel fondo marino per mezzo dello stesso detrito è reso evidente dal fatto che vi ho io stesso, con maraviglia pari alla soddisfazione, verificato. Mentre non di rado il detrito morenico è sparso confusamente nelle sabbie, veggonsi a diversi livelli (*c c c c c*) letti regolari di ciottoli in forma di *galets* perfettissimi. Non è qui evidente il lavoro del mare, ora tranquillo ora tempestoso, che elaborava il detrito morenico, per convertirlo in cordoni littorali, che andavano l'uno all'altro sovrapponendosi? Se il lavoro del mare è qui, meglio che alla Cassina Rizzardi, attestato dai *galets*, non lo è meno l'origine glaciale del detrito dalla presenza di ciottoli striati perfettissimi, intatti, che io stesso levai dallo strato vergine di mezzo ai *galets*.

Sopra quei letti o cordoni marino-glaciali, il disordine cresce, la stratifica-

(1) I fossili dell'anfiteatro d'Ivrea sono destinati a dare alla *fauna glaciale* un contributo altrettanto ricco quanto è quello che le ha portato l'anfiteatro di Como: nessuno però finora si è occupato espressamente a farne una collezione, ed a determinarli. I pochi che si citano in questo capitolo furono raccolti da me o speditimi dal sig. Balegno, e vennero determinati dal professore C. d'Ancona. La *Venus umbonaria*, specie estinta, appartiene al miocene ed al pliocene inferiore, ed è più rara nel pliocene superiore.

(2) Come ebbi già occasione di dire, in seguito ai fatti da me espostigli e guidato dal sig. Bruno, il sig. Helland portossi nell'autunno del 1876 a visitare l'anfiteatro d'Ivrea, nominatamente il Ponte dei Preti e la Borra grande. Vistolo di ritorno, non rifiniva di vantare l'evidenza dei fatti e la certezza delle mie deduzioni. Sopratutto era rimasto convinto dell'esattezza del qui esposto particolare. Ecco quanto ne scrisse al sig. Desor, avvertendo che il nome di Borra grande trovasi cambiato in quello di Dacia grande, o per errore, o perchè realmente quel burrone è indicato dai paesani con diversi nomi. « In der moraene bei Ivrea habe ich marine Fossilien gefunden, nicht nur in der Sandablage-rumzen die unter der eigentlichen moraene liegen, sondern auch *in der moraene selbst*. Die stelle vo sie sich finden ist Dacia-grande genant, nich weit von Ponte-dei-Preti. Ich habe *in der Moraene* ein marine Fossil und einen geritzten Block nur ein meter von einander gefunden ».

zione si confonde, e ben presto il deposito presenta il vero aspetto di una morena lavata dal mare. La forma terrestre però della morena si deve cercare assai più in su.

Conchiudendo, lo studio della Borra grande mette in evidenza questi due fatti:

1.° che l'anfiteatro morenico d'Ivrea ha base marina, essendo sorto dal fondo del mare pliocenico mediante l'accumulazione del detrito morenico cadente dal ghiacciajo che gli faceva da tetto;

2.° che le sabbie gialle sono le *sabbie gialle* ascritte al pliocene superiore; sono equivalenti al terreno glaciale, come io sostenni molti anni prima che fossero riconosciuti gli splendidi fatti, dimostranti tale equivalenza, raccolti entro il dominio degli anfiteatri di Como e d'Ivrea (1). Torna opportuno di notare, avanti di proceder oltre, che sotto le sabbie alla base dell'anfiteatro d'Ivrea si dovrebbero trovare le argille azzurre come a Balerna e Camerlata. Esse affiorano difatti sulla sinistra della Dora al livello del fiume presso Borgomasino. Il sig. Bruno osservò in seno ad esse massi enormi di protogino del monte Bianco, i quali mostrano come anche qui l'irruzione del detrito glaciale in seno al mare fosse già cominciato sulla fine del periodo delle argille (2).

Ciò che si è visto nella Borra grande può darci un'idea di quello che si presenta più o meno distintamente, e con una infinità d'accidenti diversi, nella porzione basilare e frontale di tutto l'anfiteatro d'Ivrea. Anzi, seguendone la curva, mano mano che ci avviciniamo alla parte frontale, il *facies* marino diventa sempre più deciso, ed occupa un'altezza relativa maggiore, finchè, proprio sulla fronte, tutta la morena, fino alla sommità, perduto il carattere terrestre, si piglierebbe per un cordone littorale marino. Per osservare ancora quella forma caotica che caratterizza le morene terrestri rimanendo sui lati, bisogna salire a considerevole altezza, tanto sul destro come sul sinistro lato. Il tanto in giù, e tutto l'arco frontale, come mostra la fig. 55, per quanto vi abbondino grossi massi ed enormi accumulazioni di massi, il carattere della stratificazione che contrassegna le morene sotto-marine vi è talmente deciso che, per non lasciarsi fuorviare a credervi una formazione di ben altra origine da quella di una morena, bisogna tener fisso nella mente, che si tratta di un anfiteatro con massi e ciottoli striati dovunque e con tutti quei caratteri per cui la Serra (3) fu presa fin da principio e sempre, e da tutti ritenuta, come tipo d'anfiteatro morenico.

(1) L'idea che le *sabbie gialle subapennine*, ascritte al pliocene superiore, si dovessero geologicamente separare dalle argille azzurre, ossia dal *pliocene inferiore* o vero *pliocene*, e considerare come un *equivalente subapennino* del *terreno glaciale subalpino*, insomma come rappresentante marino di quell'epoca in cui la regione delle Alpi era invasa dai ghiacciai, fu da me emessa fin dal 1867, quando pubblicai le mie *Note ad un Corso annuale di geologia* (Vol. II, §§ 562-563). Nel mio *Corso di geologia* (Vol. II, §§ 1252-1255) pubblicato nel 1873, trattai più largamente la quistione degli equivalenti del terreno glaciale, dimostrando come fra questi dovevansi computare le sabbie gialle subapennine. Soltanto verso la fine del 1873 vennero a scoprirsi i ciottoli striati insieme a conchiglie marine alle Fornaci di Balerna, e negli anni seguenti i fatti relativi agli anfiteatri di Como e d'Ivrea che formano la base principale della presente discussione.

(2) Arrischio una spiegazione in proposito, ed è questa: che verso la fine del periodo delle *argille azzurre*, avanzandosi già i ghiacciai verso lo sbocco delle valli alpine aventi il carattere di canale marino, di *fiords*, si staccavano dalla loro fronte montagne di ghiaccio (*Icebergs*), che, portati galleggianti sull'area stessa dove sorge l'anfiteatro, scaricavano i massi di protogino sul fondo fangoso del mare. Ricordo in proposito alcuni particolari ch'io rilevo da una nota all'opera del Lyell, *L'ancienneté de l'homme*. Il fondo del mare dove sboccano i ghiacciai è composto di fango con conchiglie e massi erratici. Secondo il Torell, sulle coste nord e ovest dello Spitzberg il fondo del mare è coperto di finissimo fango derivato dalle morene o prodotto dall'azione erosiva che esercitano i ghiacciai sulle rocce sottoposte. Il fondo del mare nel canale di Omenak (Groenlandia) è composto di fango impalpabile, simile a quello di cui si vedevano coperte in tal copia alcune montagne di ghiaccio galleggianti, che vi si affondava fino al ginocchio. Si trovavano inoltre impigliati in quel fango marino immensi massi di rocce granitiche o d'altra natura, di tutte le dimensioni, molti dei quali erano striati sopra una o più fàcce.

(3) Col nome di Serra, com'indica la fig. 55, vien precisata propriamente quella parte dell'anfiteatro che sorge ad est d'Ivrea, dividendo a guisa di enorme muraglia la valle della Dora Baltea da quella del Cervo. Qui la si prende come espressione di tutto l'anfiteatro, di cui costituisce il lato orientale, presentandone al tempo stesso la parte terrestre per eccellenza.

Ciò che dico si osserva assai bene lungo la ferrovia da Ivrea a Candia. Qui, per es., mentre sulla sommità della morena sporgono da una formazione caotica massi dioritici di 3 a 4 mila metri cubici, la base, fino a grande altezza, appare preferibilmente composta di strati argillosi o sabbiosi abbastanza regolari. Ma di mezzo a quegli strati, ciottoli e massi e agglomerazioni degli uni e degli altri si osservano dovunque. Da uno dei banchi di argilla sabbiosa quasi pura che fiancheggia la ferrovia, vidi io stesso, quando ci fui il 4 settembre, scavarsi un masso di micaschisto di qualche metro cubo. Così è dovunque la morena che si svolge a mezzodì del lago di Candia; così tutta la parete dell'anfiteatro tra Candia e Mazzé. Alla base argille, o piuttosto fanghi sabbiosi ben stratificati, con ciottoli talora abbondantissimi, e massi anche grossissimi ma scarsi. I fanghi sabbiosi passano a sabbie impure, stratificate con sfasciume glaciale abbondante. I massi prevalgono in alto, dove il deposito assume meglio l'aspetto di vera morena. Badisi bene però, e giova ripeterlo, che vera morena, a caratteri terrestri, non si presenta che sui lati, non mai sulla fronte dell'anfiteatro, dove i caratteri di morena marina, o littorale, sono sempre più o meno spiccati. Anzi (chiamo tutta l'attenzione del geologo su questo fatto) salendo dal lago di Candia a Mazzé, sito sulla sommità dell'anfiteatro nel punto più avanzato verso sud, notai che il deposito perdeva affatto il carattere di morena, per assumere quelli di un cordone littorale. Esso era ridotto ad una accumulazione di ciottoli aventi la forma più decisa di piastrelle discoidali (*galets*) piccole e grandi, così perfette ed abbondanti, che mi pareva veramente di trovarmi a Genova, o sopra un punto qualunque di lido marino coperto di depositi ghiajosi o ciottolosi. Non manca però anche in quel punto ciò che basti a ricordarci che ci troviam sempre sul dorso di una morena, sulla fronte del più classico tra gli anfiteatri morenici, mentre non mancano, misti ai ciottoli discoidali, altri prettamente glaciali. Più ancora valgono a richiamarci alla vera origine di quel cumolo centinaja di grossi massi, specialmente di serpentino, sparsi dovunque, anche lungo le vie di Mazzé, così maravigliosamente striati, che non mi ricordo di averne mai visti di più belli o di più caratteristici.

Ma ciò che toglie ogni dubbio circa l'origine glaciale-marina di questa formazione sono i fossili marini scopertivi dovunque si praticarono scavi o si fecero indagini accurate. Gli abbiamo già visti così abbondanti nella Borra grande. Qui la loro pertinenza alla morena è ancora, se ciò è possibile, più chiara. Il sig. Bruno, per esempio, ne scoprì anche più verso la sommità dell'anfiteatro. Mi indicò nominatamente una località fossilifera, proprio nel cuore della morena, che può verificarsi da chicchessia sulla destra della ferrovia tra Mercenasco e Candia, a 25 o 30 metri sul livello della ferrovia stessa, e quindi a 50 o 60 metri sulla base della morena. Dal piano della ferrovia dove si incontrano le argille sabbiose, come abbiam detto, fino a quell'altezza, e più in su, il fianco della morena è nudo, quasi a picco, e presenta perciò uno spaccato naturale, dal quale presi uno schizzo, che qui riproduco nella fig. 57.

Fig. 57. — Spaccato naturale della base dell'anfiteatro morenico tra Mercenasco e Candia.

a. Argille fangose e sabbiose con massi glaciali. — *b*. Sabbie con sfasciume morenico. — *c*. Le stesse con conchiglie marine.

Il tunnel della ferrovia, che ha l'imbocco presso Candia e lo sbocco tra Caluso e Mazzé alla base meridionale dell'anfiteatro, dovette, come mostra la fig. 55, traforare parte a parte il corpo dell'anfiteatro stesso. Or bene, mi diceva il sig. Bruno, è noto a tutti che facendosi quel traforo nella morena, si trovarono fossili marini dappertutto. Perchè non ci badò chi ci doveva badare?

Alle notizie raccolte dal signor Bruno, risguardanti la fronte dell'anfiteatro sulla destra della Dora, debbo aggiungerne altre importantissime comunicatemi più tardi dal sig. dottore Eucherio Balegno di Scopello in Val Sesia, con lettera del 7 luglio 1877. In essa m'informava che, trovandosi nei dintorni d'Ivrea,

aveva raccolto conchiglie e frantumi di conchiglie da certi strati, messi a nudo da un borro d'erosione, ad est del lago di Candia e circa a mezza via tra Vische e Mazzé, quindi in luogo molto elevato e proprio nel cuore dell' anfiteatro morenico. Un banco di sabbia e ciottoli è tutto sparso di frantumi di gusci che, avendo fino ad un centimetro di spessore, indicano di aver appartenuto a conchiglie di gran dimensione. Scoperse in quello stesso banco un grosso individuo di *Vermetus*, di cui mandò il disegno, non sufficiente a determinarne la specie. Un po' più basso, dove gli strati sono sabbiosi, raccolse conchigliette piccole ma intere (1). Vede il lettore che i fatti riferiti sono molti ed evidenti. L' anfiteatro d'Ivrea non è per la massima parte che un grande edificio glaciale sotto-marino.

Appena ad ovest di Mazzé, l'anfiteatro è tronco dalla Dora, sicchè la fiancheggia con una parete a picco, alta forse un centinajo di metri, dove si possono studiare tutti gli accidenti descritti, riportandone un'impressione d'insieme per cui a quel cumulo immenso di fanghi, di sabbie, di ciottoli e di massi non si troverebbe altro nome più conveniente di quello di *morena stratificata*. Nel letto del fiume si ammirano, relitti inamovibili di quell'enorme lavoro d'erosione, dei massi erratici colossali, che emergono a guisa di scogli, contro i quali s'infrange la corrente. Si distinguono fra di essi i primi protogini del monte Bianco, appartenenti

(1) I fossili a cui accennava la lettera del sig. Balegno mi furono poi rimessi da lui medesimo al principio di quest'anno 1878. Eccone la lista, secondo la determinazione fattane dal prof. d'Ancona.

Sono da aggiungersi frammenti indeterminati in gran numero di *Pectunculus*, *Cardium*, *Pecten*, *Ostrea*.

Vermetus arenarius Linn. — Vivente nel Mediterraneo; fossile nel miocene, nel pliocene inferiore e più frequente nel superiore.

Dentalium elephantium Linn. — Specie estinta, fossile nel pliocene inferiore.

Turritella subangulata Brocc. — Vivente nel Mediterraneo; fossile nel pliocene inferiore; più frequente nel superiore.

Ceratotrochus duodecimcostatus Edw. ed H. — Un piccolo e un grosso individuo. Specie estinta; fossile nel miocene superiore e nel pliocene inferiore; più rara nel superiore.

È molto probabile che la località indicata dal Dott. Balegno sia quella stessa che si trova accennata dal P. Gastaldi nella sua Nota *Sur les glacièrs pliocèniques de M.r. E. Desor*, già citata. Eccone le parole: « Moi-même, dans les Mémoires que j'ai publiées sur le terrain erratique du Piémont, j'ai signalé quelque part la présence de la marne pliocénique avec des débris de coquilles marines en contacte immediat avec des débris morainiques dans l'intérieur de l'amphithéâtre d'Ivréeé, entre Mazzé et Vische, sur la droite de la Dora Baltea. » Ma qui, come in tutti i luoghi citati e da citarsi più innanzi, si tratta di ben altro che di semplice contatto tra la marna pliocenica con conchiglie marine e il detrito morenico. Qui, anzi, le marne plioceniche non ci hanno più nemmeno a che fare, a meno che non si voglia che siano desse, non l'antico ghiacciajo d'Aosta, che abbiano innalzato l'anfiteatro d'Ivrea. Si sarà notato che noi ci troviamo già, come scrive esplicitamente il sig. Balegno, in un punto molto elevato sulla sponda orientale del lago di Candia, a metà strada tra Vische e Mazzé, il che vuol dire a metà dell' altezza dell' anfiteatro d' Ivrea in quel punto. Ma c'è di più: infatti il sig. Balegno, per quanto affermi nella lettera di non avere la menoma nozione di geologia, e m'abbia scritto senza conoscermi, ignaro anche che quelle notizie potessero tanto interessarmi, fu mosso a scrivermi appunto dalla maraviglia che produsse in lui la scoperta di fossili marini in un *bacino*, com'egli dice, *molto grande*, *aperto verso nord*, *e le cui sponde a sud*, *est*, *ovest*, *hanno l'apparenza di appartenere alla morena frontale del ghiacciajo d' Aosta*. Quanto poi alla descrizione del deposito, dove trovò il *Vermetus* coi frantumi di grosse conchiglie, il sig. Balegno non poteva essere nè più preciso nè più categorico. Vidi « egli scrive » una gola, i cui lati sono pareti tagliate a picco, alte 5 o 6 metri, e composti di sabbie e ciottoli arrotondati, molto serpentinosi, a forma di prismi triangolari, con angoli consumati da confricazioni. *In mezzo a quei ciottoli sono innumerevoli frammenti di conchiglie.* » Quei ciottoli serpentinosi a forma di prismi triangolari, con angoli consumati da confricazioni, sono certamente i ciottoli *triquetri*, la cui presenza è così caratteristica delle morene, e che io descrissi e figurai nel mio *Corso di geologia* (vol. II, 65, 1042, fig. 134). Ne trovai anch'io de' belli ed abbondanti percorrendo l'anfiteatro d'Ivrea.

Mentre sto correggendo le bozze di stampa, mi giunge il n.° 2, maggio 1878, del giornale *La Dora Baltea*, con un articoletto del sig. Luigi Bruno, dove si legge così: « Lunedì scorso, dalla cascina la *Benna*, vicino al fiume Dora, rimontai il burrone che sta sotto all'abitato di Mazzè, e l'apparenza di quel terreno mi si faceva sempre più manifesta d'origine marina. Le tante domande e le molte ricerche di fossili in quella località da me fatte riescirono sempre infruttuose, e solo in quella sera quando guadagnai la sommità di quel burrone (320 m. sul livello del mare) mi avvidi dell'abbondanza di fossili appartenenti al *pliocene superiore*, commisti a sabbie stratificate, a ciottoli striati ed a pietre angolari; gli ultimi materiali sono d'origine glaciale, mentre i primi sono d'origine marina.

alla porzione destra dell'anfiteatro, dove predominano talmente che l'anfiteatro stesso da quella parte può definirsi nel complesso un ammasso di fanghi e di sabbie che impastano una congerie di ciottoli e di massi con deciso predominio di protogini. Questo si osserva già nella salita dalla sponda sinistra della Dora verso Moncrivello, dove c'è da stupire del numero e della grossezza dei protogini suddetti. Però i testimoni dell'origine sottomarina o littorale della morena sono tutt' altro che scemati. I fanghi e le sabbie sono sempre evidentemente stratificati anche dove non formano più che un conglomerato di ciottoli e di massi: i *galets* di esatto lavoro si raccolgono coi ciottoli striati, nè i fossili marini si lasciano desiderare.

Interessantissima a questo proposito è una trincea, per cui la via costrutta di fresco tra Moncrivello e Borgomasino incide la morena a sud di quest'ultimo paese. Siamo a circa 50 metri sul livello della Dora, e abbiamo sempre camminato in mezzo ad un caos di massi erratici. Nella trincea l'impasto del suolo è con decisa prevalenza, morenico, i ciottoli striati sono numerosi e stupendi; ma, sparsi in quella massa caotica, dove il sig. Bruno aveva molto tempo innanzi scoperto delle conchiglie marine, ne raccolsi io stesso dei frantumi dispersi dappertutto colà. Questo fatto è in perfetta corrispondenza con quell' osservato sulla destra della Dora, e coll'altro, indicatomi dal già citato sig. Balegno, della scoperta di conchiglie fossili, fatta già da lungo tempo sulla sponda sinistra della Dora, a circa 32 metri d'altezza tra il fiume e Villareggia, dove le conchiglie marine si trovano in mezzo a ciottoli cementati.

Dopo aver percorso l'anfiteatro morenico in compagnia del sig. Bruno nei giorni 5 e 6 settembre del 1876, nel pomeriggio dello stesso giorno 6 attraversavo la Serra, stordito dall'enormità di quella morena o porzione orientale dell'anfiteatro morenico, sollevata alla potenza di una vera montagna, mentre raggiunge all'estremità settentrionale un'altezza forse maggiore di mille metri sul letto della Dora. Che gigantesco edificio! Che caos indescrivibile! — Alla base della Serra però osservai ancora, benchè meno decisa, la struttura sabbiosa e la stratificazione evidente che già abbiamo verificato sul lato occidentale. Più presto però la struttura morenica prevale, e la fisionomia terrestre si sostituisce alla marina. Anzi io direi che chi vuol avere un'idea di una colossale morena terrestre, e precisamente di una catasta di massi ciclopici impastati nel fango, levata fino a 1000 metri d'altezza, sopra una base larga da 5 a 6 chilometri e lunga 24, così grossa anche alla sommità da formare una specie di altipiano, a grandi onde parallele, che indicano 7 od 8 grandi morene accostate l'una all' altra e fuse nella stessa base; insomma

Chi vuol veder quantunque può natura,

una volta che ha sguinzagliati certi elementi, come fece del ghiaccio nell' epoca che da esso si noma, attraversi la Serra.

Il rilievo della Serra termina propriamente a Zubiena; ma pare che il Cervo ne abbia rôsa o terrazzata la base sopra vasta estensione, formando la celebre pianura a sabbie aurifere della Bessa. A Mongrando s'incontrano le *sabbie gialle,* le quali (fatto importantissimo se vero) mi parvero riposare sulla base orientale della Serra, cioè sui più antichi depositi morenici costituenti ad est l'anfiteatro della Dora Baltea (1).

(1) Se questo fatto, ch'io avrei notato di passaggio senza fermarmi ad indagare quant'era necessario, venisse sancito, non avrebbe in sè nulla di men che naturale dopo quanto si è esposto. Quando l'anfiteatro d'Ivrea, nel suo massimo periodo di avanzamento, gettava le sue basi nel mare delle sabbie gialle (come si è visto nella Borra grande), la morena s'avanzava di fatto fino a Mongrando. Non c'è quindi maraviglia che più tardi, quando il ghiacciajo era già in ritiro e le successive morene formanti la Serra si deponevano internamente alla cerchia più avanzata, continuando a deporsi le sabbie gialle, queste venissero, come pare, a ricoprire con strati orizzontali la base esterna della morena, ancora sommersa nel mare che cingeva l'anfiteatro.

La storia dell'anfiteatro d'Ivrea, che io porrei come legittima conclusione dei fatti esposti, potrebbe riassumersi così:

1.º Discesa del ghiacciajo della Dora Baltea per la valle d'Aosta verso la fine del periodo delle argille azzurre. Il mare occupa ancora la porzione inferiore della valle nelle vicinanze d'Ivrea. Dalla fronte del ghiacciajo che si avanza in quella specie di *fiords*, si staccano montagne di ghiaccio (*Icebergs*) che si avanzano galleggiando verso il mare, dove sorge attualmente l'anfiteatro, e vi scaricano dei massi di protogino che ora si trovano impigliati nelle argille che affiorano nell'interno dell'anfiteatro stesso. Al confluente della Chiusella si forma un cono di dejezione fluvio-glaciale, su cui il mare butta testacei marini in gran numero, facendone cemento al detrito, e deponendo più internamente le sabbie, prodotte dalla lavatura del cono di dejezione, entro le quali prosperano ancora la *Venus umbonaria* e le altre conchiglie della Borra grande.

2.º Il ghiacciajo si avanza sull'area dell'anfiteatro. Il detrito glaciale comincia a mescolarsi direttamente coi depositi marini. Il fango prodotto principalmente alla superficie inferiore del ghiacciajo si mescola al fondo marino. Le argille divengono fangose e sabbiose. Cadono dalla parte del ghiacciajo massi e ciottoli. Il mare stesso elabora il detrito, formandone letti di fango, di sabbia e di *galets*, misti a detrito glaciale grossolano, ed a conchiglie marine che l'onda va scopando dal fondo più interno del mare.

3.º La morena sottomarina si eleva, e diventa littorale. Prevale l'azione del ghiacciajo, ma continua quella del mare. I letti di sabbia e di *galets*, sparsi di ciottoli e massi glaciali in gran numero, prendono quasi l'aspetto di morena terrestre. Conchiglie e frantumi di conchiglie sono sbattuti dall'onda sul lido morenico-marino. Periodo littorale di Candia, Vische, Mazzé, Villareggia, Borgomasino e di tutta la fronte dell'anfiteatro d'Ivrea.

4.º La cerchia morenica tenuta bassa, e demolita continuamente dal mare sulla fronte, si alza sui lati, emergendo e sottraendosi all'azione del mare. Si forma la morena terrestre della Serra, e la sua corrispondente sul lato occidentale. La sommità frontale è ridotta a spiaggia composta di *galets*, dove i grossi massi glaciali rimangono intatti in mezzo al detrito minore.

5.º Sollevamento dell'anfiteatro morenico da 400 a 500 metri sul livello del mare, consentaneamente al sollevamento glaciale e postglaciale della Lombardia e del Piemonte.

Questa è sommariamente la storia degli anfiteatri morenici della Lombardia e del Piemonte quale risulta principalmente dallo studio degli anfiteatri dell'Adda, del Ticino e della Dora Baltea, che io ho cercato per riguardo a quest'ultimo di esprimere graficamente collo *Schizzo geologico* (fig. 55) e collo *Spaccato geologico* (fig. 58) (1).

Prima di chiudere questo Capitolo mi sento bisogno di richiamare ancora quella domanda, allora troppo ragionevole del pari che incalzante, del sig. A. Sismonda: « Comment voulez vous que la Serra et les autres collines qui entourent Ivrée soient des anciennes moraines, puisqu'elles *renferment* à leur base des fossils marins du pliocène? » Or, dopo vent'anni di studî e di progressi, la risposta gli si può dare, e categorica; ma non è quella che gli dà il sig. Gastaldi, la quale, riducendo la miscela già asserita fin d'allora dal Sismonda, dimostrata ad esuberanza dappoi e verificabile da chicchessia, ad un fatto di semplice contatto di due terreni senza produrre alcuna prova, si risolve in una semplice ed arbitraria negazione. Or se, come credo, il sig. Sismonda non vorrà più oltre negare gli antichi ghiacciai, e l'origine glaciale dell'anfiteatro d'Ivrea, non vorrà nemmeno il sig. Gastaldi negarne l'origine marina, rimanendo tutte le opinioni conciliate e tutte le difficoltà tolte dal fatto dimostrato, che l'anfiteatro d'Ivrea,

(1) Nelle figure 55 e 56 non c'è pretesa alcuna di precisione circa ai limiti delle formazioni caratterizzate diversamente come formazioni moreniche *sottomarine*, *littorali* o *terrestri*, dalla cui associazione risulta nella sua perfetta unità l'anfiteatro morenico d'Ivrea.

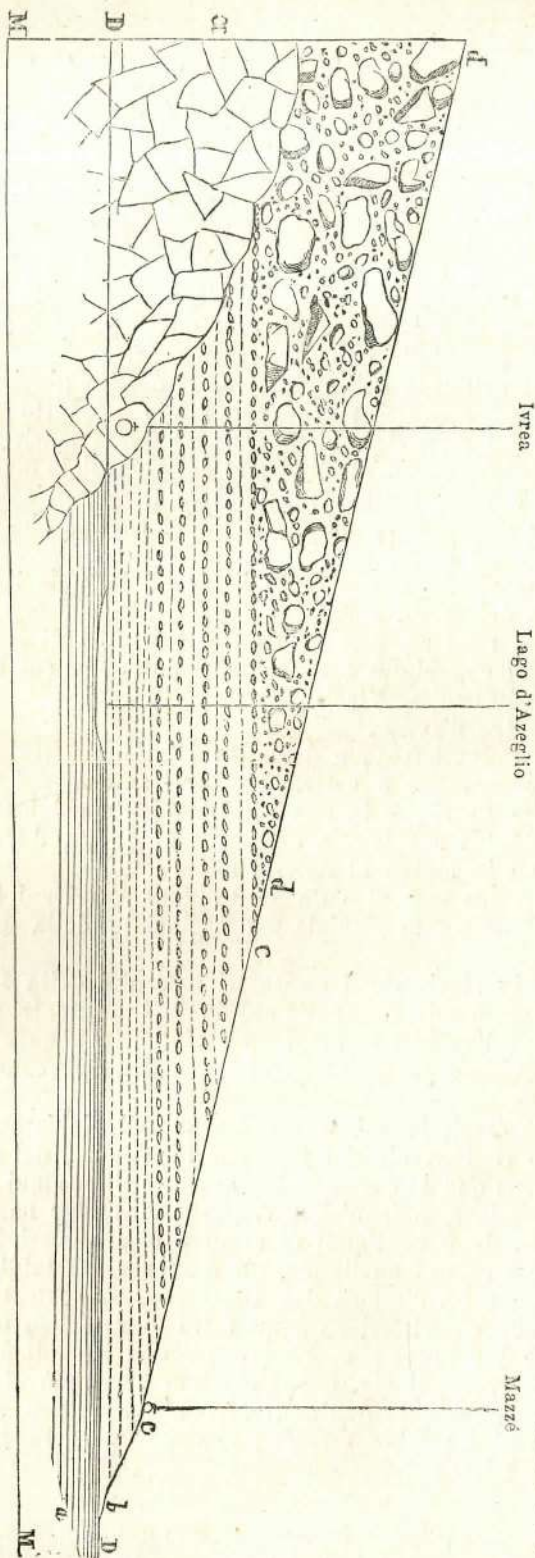



Fig. 58. — Spaccato geologico teorico-pratico dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea, preso sul lato orientale.

M M. Livello del mare. — *D D.* Dora Baltea. — *X.* Diorite. — *a.* Argille plioceniche con massi di protogino. — *b.* Morena: forma sottomarina. Argille sabbiose e sabbie con fossili marini e ciottoli striati. — *c c.* Morena: forma littorale. — *d d.* Morena: forma terrestre.

come quello di Como, è di origine glaciale-marina. In questo caso il sig. Gastaldi sarà conseguente se, come ha già ammesso in un *buon numero di casi* il suo *diluvium* interposto tra argille plioceniche e il terreno glaciale, vi rinunci affatto come a cosa che deve unicamente la sua esistenza a vecchie interpretazioni sventate dalle numerose osservazioni che furono fatte posteriormente al suo *Précis des terrains superficiels de la vallée du Po* (1).

Il mio compito del resto, a cui credo di aver soddisfatto, non era quello di dar ragione di tutti i fatti speciali che si sono osservati o si potranno osservare, nè di sciogliere tutte le difficoltà che si presentarono già o si presenteranno in seguito a scoperte così nuove. Io mi accontento che sia stabilita, come non dubito che lo sia, l'esistenza di quel *mare glaciale a' piè delle Alpi*, da me presunta ed annunciata molti anni prima che se ne raccogliessero prove così indiscutibili come quelle che abbiamo adunate e discusse in tre interi capitoli. In al-

(1) Ecco le precise parole del sig. Gastaldi nella sua Nota *Sur les glaciers pliocèniques de M.r. E. Desor*: « Il est de fait que sur quelque point, dans l'intérieur de l'amphithéâtre morainique de la vallée d'Aosta, on rencontre le terrain morainique à contact avec la couche pliocènique. Monsieur L. Bruno, qui a fait en détail le relèvement géologique de la région comprise dans la feuille d'Ivrée de notre carte topographique au 1 : 50000, en a fixé un bon nombre. Mais ce contact immediat n'est qu'un accident: dans la plupart des cas l'ancienne moraine couvre le *diluvium* alpin, qui, à son tour, couvre la marne pliocènique, ainsi que je l'ai indiqué sur la coupe publiée dans le *Précis des terrains superficiels de la vallée du Po* ».

tre parole, io mi accontento che non si possa più da nessuno dubitare che i ghiacciai alpini (nominatamente quelli dell'Adda, del Ticino e della Dora Baltea) trovarono il mare allo sbocco delle rispettive gole, e fondarono in mare il loro anfiteatro ciascuno. È un fatto dimostrato, questo, perchè per gli anfiteatri suddetti, parzialmente sì ma per una gran parte, anzi per la massima parte dei depositi che li costituiscono, si sono verificati in certi luoghi e sopra certe estensioni la forma e i caratteri di morene sottomarine o littorali.

Questo fatto non può essere nè distrutto nè infirmato da nessuna difficoltà, da nessuna cosa, per quanto si giudichi inammissibile, inesplicabile, inconciliabile col fatto stesso. Perciò ripeto che nello stabilirlo non mi preoccupo delle difficoltà risguardanti o il clima o i rapporti geologici di qualunque genere del fatto stesso con altri che siano o si possano credere stabiliti; saldo nella massima stabilita da S. Agostino per le cose di teologia, ma che appartiene alla logica generale ed è formulata molto nettamente dal Rosmini col seguente dettato, che raccomando caldamente a' miei avversari di buona fede. « Le obbiezioni che si possono fare ad una verità, *eziandio che appajano insolubili*, non possono mai, secondo una buona logica, distruggere quello che è *direttamente e solidamente* dimostrato (1). » Come, aggiungo io, è *direttamente e solidamente* dimostrata in Lombardia e in Piemonte l'esistenza di morene e d'anfiteatri morenici generati dai ghiacciai in seno al mare (2).

(1) Quando era già scritto il Cap. VIII di quest'opera, di cui i gravi impegni sopravvenutimi hanno tanto ritardato la continuazione, venne alla luce una Memoria del prof. Taramelli, *Alcune osservazioni sul ferretto della Brianza*, di cui è speciale argomento ciò che aveva dato materia al § 8 (pag. 177-186) del suddetto Capitolo. A leggerle, specialmente dopo le chiose che vi ha fatto il signor Sordelli nel suo recentissimo articolo, *Observations sur quelques plantes fossiles*, ecc., pubblicato nella *Bibliothèque Universelle* (*Archives*, Iuillet 1877), uno sarebbe facilmente indotto a credere che il Taramelli neghi l'origine morenica dei nostri anfiteatri, o almeno di quello di Como contenente i fossili marini e i ciottoli traforati dai litofagi. Tutt'altro! Essendomi trovato per parecchi giorni consecutivi col mio ottimo amico, sicchè abbiamo avuto agio di discutere l'argomento da tutti i lati, sono autorizzato a dichiarare che, per quanta divergenza d'opinioni ci siano tra me e lui, egli non ha mai inteso nemmeno di porre in dubbio che i depositi di Cassina Rizzardi, Fino, Bulgaro, Monticello, Ronco, Caccivio, siano morene, e contengano essi medesimi i fossili marini e i ciottoli a litofagi di cui si è tanto discorso. Solo, non credendo che si possano conciliare con certi risultati de' suoi studi stratigrafici nell'Apennino e in Lombardia, e specialmente col fatto di quel clima temperatissimo che risulterebbe dallo studio dei fossili, le mie idee sull'origine littorale e sottomarina di quelle morene; domandava e domanda, in quella Memoria, a sè stesso: se non c'è altro modo di spiegare la presenza dei fossili marini in quelle morene senza che ci sia necessariamente il bisogno di ritenerle, come io le ritengo, marine. Il lettore potrà apprezzare da sè stesso i tentativi da lui fatti per spiegare altrimenti la presenza di quei fossili nelle morene. Io credo che non ne sia contentissimo egli stesso. Per me, non potrei rispondere che quanto ho già scritto.

(2) Rosmini, *Psicologia*, lib. IV, cap. IX, § 458.

XI.

SULL'ORIGINE DEI LAGHI LOMBARDI

1. Rapporti tra i laghi e gli anfiteatri morenici.

Il presente Capitolo serve di corollario e d'appendice al Capitolo precedente. Esso tratta dell'origine di uno dei più belli ornamenti dell'Italia settentrionale e al tempo stesso di uno dei fatti più interessanti della sua geologia. Il lettore conosce abbastanza i nostri laghi subalpini. Son essi che occupano la parte più larga e più depressa delle grandi valli percorse dagli antichi ghiacciai. I nostri laghi, infatti, non sono che riempimenti acquei di una parte delle grandi chiuse alpine, che corrono normali alla grande catena, da cui non si possono separare nè geologicamente nè orograficamente. L' essere quelle chiuse convertite parzialmente in grandi serbatoi d'acqua dolce, piuttosto che percorse da un torrente, come le altre ad occidente e ad oriente delle regioni dei laghi, è un puro accidente, dipendente dalla loro profondità in rapporto coll'esistenza di un rilievo che si alza alla loro estremità meridionale, ed impedisce, a guisa di argine, il loro eflusso immediato verso il mare. Ma c'è ancora di più: anche tolto di mezzo quell'argine, la profondità dei nostri laghi (ciò vale almeno per alcuni di essi) è tale che, lungi dal vuotarsi, il mare stesso fluirebbe verso di essi e li convertirebbe in bracci marini. Parecchi dei nostri laghi invero presentano questo fatto, meritevole di tutta la nostra attenzione: che, mentre lo specchio delle acque si tien elevato tutt'al più di qualche centinajo di metri sul livello del mare, il loro fondo si inabissa parecchie centinaja di metri al disotto. Ecco la lista di quelli ch' io classifico come laghi principali (1), e sono, nominandoli da ovest ad est:

	A	B	C
Lago d'Orta	?	?	?
» Maggiore	195	800	605
» di Lugano.	372	279	0,00
» di Como	199	588	389
» d'Iseo	192	300	108
» d'Idro.	379	122	0,00
» di Garda	69	825 (2)	756

(1) Tra questi ch'io dico laghi principali ne pongo di molto piccoli, come il lago d'Orta e il lago d'Idro. Vedremo però come entrino anch' essi nella categoria di quelli a cui si riferisce il presente Capitolo. Nella tabella la lettera A indica l'altezza della superficie di ciascun lago sul livello del mare; B ne indica la profondità assoluta, e C la depressione del fondo sotto il livello del mare. Le cifre sono in metri.

(2) La massima parte delle cifre è presa dallo stupendo lavoro di Elia Lombardini sullo *Stato idrografico della Lombardia*, inserto nel prezioso volume delle *Notizie naturali e civili sulla Lombardia*, pubblicato da Carlo Cattaneo (Milano 1844). Quella però della profondità del lago di Lugano

Un altro carattere comune ai nostri laghi è questo: che ciascuno di essi termina a valle, ossia a mezzodì con un anfiteatro morenico, così immediatamente da occuparne talvolta interamente l'area interna, come è il caso evidente del lago Maggiore e del lago di Garda e, benchè meno decisamente, di tutti gli altri. Sono anzi gli anfiteatri che formano in genere la parte visibile del rilievo il quale serve d'argine ai laghi; ed è soltanto mediante l'incisione dell'anfiteatro stesso, praticata evidentemente dall'emissario di ciascuno di essi, che il loro livello non tiensi elevato fino alla sommità delle morene. Un rapporto così costante e così intimo fra i laghi e gli anfiteatri non può essere fortuito; esso deve averli associati fin dalla origine.

Fig. 59. — Laghi alpini in rapporto coi rispettivi anfiteatri morenici.

a. Lago di Zurigo. — *b.* Lago di Poschiavo. — *c.* Lago d'Orta. — *d.* Lago d'Idro. — *e.* Lago Maggiore. *f.* Lago di Como. — *g.* Lago di Garda.

Non devo aver bisogno di dimostrare tali rapporti tra i nostri laghi e i rispettivi anfiteatri morenici, dopo la minuta descrizione che ho dato degli anfiteatri stessi; ed è soltanto per richiamo, e perchè possa il lettore aver sott'occhio espressi colla massima semplicità i fatti che principalmente interessano questo Capitolo, che io gli presento nella figura 59 (1) altrettanti schizzi schematici quanti

è presa dalla accuratissima *Carta delle profondità del Ceresio* pubblicata dal Lavizzari. Quanto alla cifra di 825 metri assegnata alla profondità del lago di Garda, che il Lombardini riduce a 588 e il Reclus (*La Terre*, vol. I, pag. 510) a soli 193 metri, essa risulta da accurati scandagli fatti eseguire dal generale Lechi presso l'isola che ne porta il nome. Gli scandagli recenti eseguiti dalla marina austriaca, e quelli eseguiti posteriormente dalla marina italiana presso l'isola Lechi, hanno sempre oltrepassata la misura di 800 metri.

(1) Nelle figure unite sotto il N. 59 le grosse linee curve indicano le morene costituenti gli anfiteatri. Sulla fig. *g* si osserva, ad oriente del grande anfiteatro di Garda, il piccolo anfiteatro laterale dell'Adige, tra il monte Baldo e le alture di Rivoli, già descritto a pag. 108, fig. 35.

sono i laghi principali della Lombardia, meno quelli di Lugano e d'Iseo (1), dai quali si vedrà che sarebbe assurdo il non voler ammettere che tra i laghi e i rispettivi anfiteatri non ci sia un legame d'origine, e quanto sia esatto il dire che gli anfiteatri fanno argine ai laghi, e che i laghi stessi sono, per quella porzione con cui escono dalle rispettive gole montagnose, contenuti ciascuno nel rispettivo anfiteatro, e finalmente che il loro eflusso attuale è dovuto all'incisione degli anfiteatri praticata dall'emissario di ciascun lago.

Quando s'asserisce che i laghi e gli anfiteatri hanno fra loro rapporto d'origini, mi pare che sia già come dire che quelli stanno a questi come la causa all'effetto o viceversa: e siccome non può di certo attribuirsi ai laghi, come laghi, la formazione degli anfiteatri, non rimane che d'attribuire a questi la formazione di quelli.

Lo sentirono fin da lungo tempo quanti si occuparono, con cognizione di causa, di tali rapporti: come il Ramsay, il Gastaldi, il Mortillet, il Desor, l'Omboni ed io stesso, che me ne sono occupato fin dall'epoca (1865) in cui ho pubblicato le mie *Note ad un Corso di geologia*. Molto diversi però sono i risultati a cui ciascuno credette di essere arrivato, come apparirà dal seguente paragrafo.

2. Ipotesi sull'origine dei laghi lombardi.

Io non credo che nessuno, prima di Ramsay, abbia posto in dubbio la preesistenza dei nostri laghi (o almeno quella dei bacini che ne contengono attualmente le acque) al periodo dell'invasione degli antichi ghiacciai. Dal momento che i nostri laghi servirono, colle rispettivi valli, di emissarî al gran mare di ghiaccio che si adunava sulle Alpi, sembrava necessario ammettere che le dette valli e i laghi stessi esistessero già quando gli antichi ghiacciai ne presero la via per discendere. Nell'ipotesi di Ramsay non si mettono in dubbio i rapporti descritti tra i laghi e i ghiacciai, ma si esagera la potenza reale di questi fino al punto di considerarli, non solo come causa determinante dei laghi in quanto sono masse d'acqua raccolte entro bacini, ma anche come causa efficiente degli stessi bacini che le raccolgono. La ipotesi di Ramsay, messa fuori nel 1859, riguarda propriamente l'origine dei laghi svizzeri; s'applica però naturalmente ai lombardi, ed è noto che essa, non solo ancor vive, ma acquistò la più grande universalità per riguardo alla sua applicazione, ed ha guadagnato un gran numero di adepti, i quali pretendono di spiegare allo stesso modo, cioè come scavati dai ghiacciai, i laghi, i circhi alpini, le valli, i *fiords*, e tutte insomma le depressioni che servirono di letto o di emissarî ad alcuno degli antichi ghiacciai (2). Secondo quello che scrissi nelle mie *Note ad un Corso di geologia*, confutando la teorica di Ramsay (3), i laghi svizzeri sono per lui il risultato dell'erosione glaciale esercitata sulle rocce più molli. Osserva, in prova di ciò, che i laghi svizzeri sono in gran parte nella molassa miocenica. Lyell, Studer, Ball, Desor confutarono la strana teoria, la quale, dice Desor, non trovò nessun' eco in Svizzera (4): e noi avvaloreremo le loro obbiezioni con qualche aggiunta che riflette in particolar modo i laghi lombardi.

(1) Il lago di Lugano, per la sua forma bizzarra, e per aver servito come di cloaca ai due grandi ghiacciai del Ticino e dell'Adda, è in tali condizioni che non si presterebbe così facilmente ad essere rappresentato con una semplice figura schematica. Esso è però ben lontano dallo stabilire un'eccezione per riguardo a ciò che si studia nel presente capitolo. Tutti e tre i rami, con cui esso termina a valle (quelli di Capolago e di Porto a sud e il terzo di Ponte Tresa ad ovest) mettono capo ciascuno ad un anfiteatro, o meglio ad un ammasso frontale di morene che riempie la rispettiva gola. Si può dire, del resto, del lago di Lugano meglio degli altri, che sia contenuto nell'anfiteatro morenico, tanto le morene vi hanno sviluppo sui lati e sulle fronti; sicchè tutto lo circondano e lo serrano. Quanto al lago d'Iseo, basta osservare la *Tavola II* per persuadersi quanto sia vero di esso quanto degli altri si afferma.

(2) A Tyndall è dovuta specialmente questa generalizzazione della teorica di Ramsay.

(3) *Note* ecc., vol. I, pag. 176.

(4) Desor, *Le paysage morainique*, pag. 77.

I laghi svizzeri presentano rocce di differente durezza. I laghi lombardi più non toccano quasi le marne cretacee o le molasse terziarie: sono scavati invece nei graniti, negli gneis, nelle dolomie compatte, nelle puddinghe quarzose, nelle calcaree durissime, nel lias e nel trias.

Se l'orientazione dei nostri laghi è parallela all'asse dei ghiacciai, i laghi di Ginevra e di Neuchâtel sono pressochè verticali a quell'asse.

Perchè non esisterebbero laghi, salvo piccolissimi stagni, in tutta la tratta dal lago Maggiore al golfo di Genova, dove sono sviluppatissimi i ghiacciai?

Un fatto singolare sembrami atterrare la teorica di Ramsay. La massa nummulitica che costituisce la Ròcca Manerba sul lago di Garda, può avere uno spessore di 100 a 150 metri. È formata di due zone di calcare durissimo, a cui s'intercala una zona di arenaria facilissima all' erosione. Le due zone infatti sono indicate da due promontorî, distinti da una depressione profonda, prodotta certamente da erosione. A questa depressione corrisponde il golfo a sud-ovest dell'isola Lechi, il quale è, secondo ogni apparenza, d'una profondità assai mediocre. L'isola Lechi, al contrario, corrisponde al promontorio formato di calcare durissimo, inferiore alla zona arenacea. Or bene, lo scandaglio calato dal ciglione dell'isola dà l'enorme profondità verticale di 825 metri. Supposto che il ghiacciajo scavasse il lago di Garda, avrebbe prodotto un bacino a morbido pendìo e poco profondo dove esiste la zona arenacea, mentre scavava un abisso verticale di 825 metri dove esiste il calcare durissimo?

Io credo bastino le nozioni più elementari della geologia per convincerci che i nostri laghi colle rispettive valli, come tutte le valli aventi i caratteri delle nostre, sono spaccature, sono *chiuse*, determinate fino in origine dal sollevamento delle grandi masse continentali. Lo dicono con certezza: la loro direzione, che è per tutti normale in media a quella della spaccatura da essi incisa; la loro immane profondità; la forma sempre ripida e dove la roccia è più dura anche a picco delle loro sponde; il corrispondersi a destra ed a sinistra delle sporgenze e delle rientranze, come si osserva sempre nelle spaccature piccole o grandi. Ho detto che dove la roccia è dura e poco erodibile (come quando il lago è scavato nelle calcaree e nelle dolomie compatte, nei graniti, ecc.) i nostri laghi si mostrano incassati fra pareti a picco, presentando l'aspetto di una vera gola alpina. Volevo dire con ciò che essi, soltanto dove la roccia è molle, o si disaggrega facilmente per effetto degli agenti meteorici, presentano allargamenti e seni laterali a morbido pendìo. Ciò mostra che quei seni, quelli allargamenti furono prodotti per erosione meteorica od acquea, posteriormente alla formazione delle spaccature, le cui pareti dovevano mostrarsi originariamente a picco dovunque. Così vediamo fiancheggiati da larghi seni i laghi dove s'incontrano, per esempio, le marne e le arenarie così erodibili del Keuper, gli schisti micacei e gli schisti marnosi ancor più erodibili dell'infralias. Quei seni accusano un lavoro di migliaja d'anni, eseguito dagli agenti meteorici, ed anche primitivamente dall'azione dell'onde dal dì che cominciò l'emersione dal mare dei rilievi continentali, e molto prima che discendessero dalle Alpi i ghiacciai. Questi non fecero che occuparli, insinuandosi in essi e deponendovi quegli enormi cumuli che, sotto il nome di *morene insinuate*, vennero già nei precedenti capitoli segnalati e studiati. Ce ne porsero esempî classici i seni morenici della Tremezzina (pag. 79) scavati nell'infralias; quello del territorio di Lecco, scavato principalmente nel Keuper (pag. 80), e quello di Tassano (pag. 50) scavato pure nell'infralias sul fianco orientale del lago d' Iseo. — Conchiudendo: le gole alpine e i bacini lacustri che vi sono compresi esistevano già prima che discendessero gli antichi ghiacciai, e furono da essi percorsi e riempiti di ghiaccio.

Ma in quali condizioni trovavansi quelle gole, e principalmente i rispettivi fondi, che servono ora di letto ai torrenti ed ai laghi alpini, quando i ghiacciai pigliarono le mosse? Come esistono ancora quelle enormi depressioni convertite in laghi, benchè siano state riempite dai ghiacciai? Non dovevano le gole alpine essersi già riempite di alluvioni, prima che i ghiacciai discendessero ad occuparle? Così infatti credette il sig. Mortillet, il quale, per spiegare l'esistenza dei nostri

laghi ad onta che i loro bacini fossero stati colmati dalle alluvioni anteriormente all'epoca glaciale, mise in campo la celebre ipotesi della riescavazione dei laghi. Vediamo come ragionasse l'illustre geologo per ammettere dapprima come avvenuto di fatto il riempimento alluvionale dei bacini lacustri, quindi la loro riescavazione.

Credette il sig. Mortillet, appoggiandosi anche alle osservazioni del sig. Gastaldi, di aver scoperto che all'estremità meridionale dei nostri laghi gli anfiteatri morenici riposassero sopra grandi masse di alluvioni composte di ciottoli alpini, derivate da quelle stesse valli già percorse dagli antichi ghiacciai, ed ora intercettate da laghi profondissimi, talmente che nemmeno un granello di sabbia potrebbe attualmente essere condotto dalle acque dalla regione alpina superiore a quella delle antiche alluvioni coperte dalle morene. Come difatti potrebbe un ciottolo della Valtellina essere attualmente condotto dalle acque all'estremità meridionale del lago di Lecco, od un ciottolo del S. Gottardo all'estremità meridionale del lago Maggiore, dove si nota, secondo Mortillet e Gastaldi, sotto le morene l'antico *diluvium*? Questo *diluvium* dovette adunque, anteriormente alla discesa dei ghiacciai, aver colmato i laghi, sicchè i torrenti che discendevano dalle Alpi potessero continuare il loro corso, come oggi la Dora, il Tagliamento, ecc. sopra un letto alluvionale, trascinando le sabbie, le ghiaje, i ciottoli, fino ai limiti settentrionali della pianura. Se le depressioni alpine sono ora vuote d'alluvione e riempite d'acqua, bisogna dunque ammettere necessariamente che siano state da qualche agente vuotate, riescavate. Ecco in poche parole come raccontano i signori Mortillet e Gastaldi la serie di questi maravigliosi avvenimenti. I torrenti alpini, anteriormente all'epoca glaciale, colmarono i laghi colle loro alluvioni e, spingendo le rispettive foci oltre i limiti meridionali degli attuali bacini lacustri, deposero l'*antico diluvio* ai limiti settentrionali della pianura eridana. Discesero allora i ghiacciai, e colla loro enorme pressione verticale, combinata col movimento semi-orizzontale proprio dei ghiacciai stessi, respinsero l'alluvione che ricolmava i laghi e se la cacciarono innanzi, rovesciandola infine, sotto forma di morena, sull'alluvione preesistente. — Nella teorica di Mortillet adunque le nostre morene frontali sarebbero, più che altro, il prodotto dell'alluvione antica, esportata dai bacini lacustri e riversata in massa sulla porzione meridionale dell'alluvione stessa.

La teorica della riescavazione, per quanto speciosa, vince in assurdo quella di Ramsay. L'ipotesi dell'illustre inglese può almeno cercare un qualche appoggio nel fatto che i ghiacciai realmente rodono i fianchi e il fondo delle valli da loro percorse, e quindi realmente scavano: le roccie striate e arrotondate ne sono una prova. Ma per qual legge meccanica possono i ghiacciai sprofondarsi fino alla base di una massa alluvionale che riempie esattamente tutto un bacino, rimoverla come farebbe un badile, e questo fino alla profondità di 300, di 800 metri? Ebbe mai alcuno osservato che un ghiacciajo scavi anche un sol palmo di terra nel modo ammesso dalla teorica? No: il ghiacciajo scorre anche sul suolo coperto d'erba, senza smuoverne la minima porzione. La pressione può comprimere il terreno; ma, comprimendolo, lo imprigiona. Cosa faccia il ghiacciajo quando incontra un suolo coperto di mobile detrito, fu osservato benissimo: esso conficca i ciottoli nel suolo, adeguandoli tutti allo stesso piano, e formandone una specie di selciato, talvolta d'una regolarità maravigliosa. Io ne ho osservato moltissimi di tali selciati, lasciati scoperti dai ghiacciai nel loro regresso. Mi ricordo, per esempio, d'averne visto di bellissimi sulla fronte del ghiacciajo del Forno sopra Santa Caterina di Bormio, sul passo della Gavia, rimasto libero dai ghiacciai in questi ultimi anni, ecc. Ho visto degli spazî, appena scoperti pel regresso dei ghiacciai, che avevano tutte le sembianze di quei selciati composti di grossi ciottoli che caratterizzano le antiche vie romane. Il ghiacciajo non fa che rimuovere gli ostacoli in cui s'imbatte di fronte, ed è così che atterra alberi e case, e spinge innanzi le sue morene frontali. Ma anche in questo ha un limite: mentre se l'ostacolo è molto saldo, se la stessa morena frontale ha acquistato dimensioni considerevoli, il ghiacciajo, invece di smuovere, o sormonta o gira di fianco a ciò che si oppone alla sua marcia discendente.

Talvolta basta un solo masso erratico, pur ch' abbia considerevoli dimensioni, ad opporglisi, obbligandolo a ripiegarsi per girarlo o sormontarlo (1). Dove potevano dunque gli antichi ghiacciai, per quanto potenti, supposti pure 10 e 100 volte più grandi degli attuali (2), trovare una forza sufficiente per cavar fuori e spingersi davanti una massa di detrito come quella, per esempio, che doveva riempire il lago di Garda, così vasto, profondo 800 metri? Quella forza doveva essere sufficiente, non solo a lisciare e arrotondare isole e rupi, ma a spezzare le montagne. Poi, dove sarebbe andata a finire tutta quella massa alluvionale che si sarebbe arrestata all'estremità meridionale dei laghi? Le morene frontali, che la rappresenterebbero secondo la teorica, sarebbero ben lontane dal presentare un volume pari a quello che doveva risultarne (3). Lascio tante altre obbiezioni, come quella, per

Fig. 60. — Masso erratico di schisto arrotondato e striato presso Longone (Brianza).

(1) Che i ghiacciai non valgano a rimuovere le proprie morene, appena queste abbiano acquistato un certo grado di potenza; lo attestano, per esempio, quello di Maccugnaga e quello di Miage. La morena frontale del primo, detta il Belvedere, è una vera montagna di massi formanti una catasta alta da 200 a 300 metri almeno sopra una base di forse mezzo chilometro. Ora che il ghiacciajo si è diminuito d'assai, si vede incassato entro le proprie morene, che sovrastano di molti metri alla sua superficie. Prima della metà di questo secolo, invece, lo stesso ghiacciajo ebbe un periodo di forte incremento, per cui si alzava, io credo, almeno più di 100 metri sopra l'attuale sua superficie; ma, in luogo di atterrare e spingere innanzi la morena frontale, si biforcò contro di essa, come avrebbe fatto contro una montagna di salda roccia, e si sfogò per due rami laterali ora non più esistenti, abbracciando la morena frontale che tenne saldo. In questa condizione fu trovato e disegnato da Forbes nella sua famosa opera *Travels through the Alps of Savoy*. Nelle stesse condizioni fu trovato da lui e disegnato il ghiacciajo di Miage. È pure notissimo il fatto di massi erratici, abbandonati dai ghiacciai, che furono, in un periodo di progresso posteriore, non già rimossi, ma sormontati dagli stessi ghiacciai, e quindi arrotondati e striati. Di tali massi ne scoprii uno bellissimo sulla via che conduce da Carella a Longone presso la chiesuola di quest'ultimo paese, ed è rappresentato dalla fig. 60 sopra un disegno eseguito con molta cura dalla signorina Sofia Strambio.

(2) I ghiacciai che discendono nei *fiords* di Groenlandia sono, come abbiamo visto, così potenti, da uguagliare ad un dipresso quelli che discendevano dalle Alpi, percorrendo le valli principali nell'epoca glaciale. Eppure essi non diedero nè al sig. Helland, nè agli altri visitatori alcuni indizi di effetti paragonabili a quelli supposti nella teorica della riescavazione.

(3) Secondo i calcoli del Lombardini, la massa di detrito evacuata (calcolando il pendio primitivo dell'alluvione sulla pendenza conosciuta dei nostri fiumi, e la profondità dei laghi sugli scandagli praticati) doveva essere tale pei soli quattro grandi laghi di Lombardia da formare una morena larga alla base 1500 metri, larga alla sommità 300 metri, alta 300 metri, lunga 1200 chilometri; una montagna che giungerebbe, con tali dimensioni, da Torino a Parigi. Mortillet rispose a questa obbiezione scemando d'assai il pendio dell'antica alluvione; ma supposto che potesse farlo ragionevolmente, il prodotto sarebbe ancora sproporzionato in confronto della realtà, e si noti poi che la massima profondità ritenuta dal Lombardini pel lago di Garda sarebbe di 290 metri in luogo di 885 che io posso attestare. All'enorme ammasso prodotto dall'evacuamento bisognerebbe poi aggiungere quello della *torbida* che

esempio, che i nostri anfiteatri dovrebbero essere composti d'una massa alluvionale piuttosto che, come lo sono realmente, di una massa morenica, formata di massi erratici, di ciottoli striati, ecc.: la lascio, dico, perchè la teorica della riescavazione non pare abbia ormai altri sostenitori che quelli che l'hanno inventata, e anch'essi non sembra spingano la loro convinzione fino all'entusiasmo, ammettendo, almeno il Gastaldi, che essa presenti il fianco a serie critiche (1).

Del resto, tutti i raziocinî impiegati per combattere la teorica della riescavazione dei bacini lacustri diventano superflui, vorrei dire oziosi, dal momento che noi abbiamo verificato che gli anfiteatri di Como e d'Ivrea non presentano alla loro base nè *diluvium*, nè altro terreno che stia tra le argille plioceniche e le morene; che le morene si radicano immediatamente nelle argille marine; che le morene stesse sono sparse, dalla loro base fino a considerevole altezza, di conchiglie marine ed hanno tutti i caratteri di morene sottomarine o littorali; che insomma i ghiacciai giungevano al mare ed eressero sul fondo marino i loro anfiteatri. Che cosa è dunque codesta antica alluvione, la cui esistenza è con tanta sicurezza affermata dal Gastaldi del pari che dal Mortillet? Ecco la risposta ch' io diedi a questa domanda, già fin dal 1865, nelle mie *Note ad un Corso di geologia.*

Mortillet, passando in rassegna i luoghi dove osservò la pretesa alluvione antica inferiore al terreno glaciale, parla sempre, o quasi sempre, di un'alluvione cementata, di una puddinga. Ma questa puddinga si formò prima o dopo il periodo glaciale? Se prima, come poteva il ghiacciajo evacuare i laghi da una puddinga formante una durissima roccia quale si trova a Cucciago, sull'Adda tra Brivio e Cassano, a Palazzolo, ecc., luoghi citati da Mortillet? Se la puddinga si formò dopo, perchè anche le morene non sono concentrate e ridotte a puddinga?

E poi si osservò se le rocce componenti la supposta alluvione antica siano le stesse che compongono le morene, come esserlo dovrebbero se avessero la stessa provenienza? Un esame da me istituito lungo l'Adda da Cassano a Brivio mi diede tutt'altro risultato.

Il letto dell'Adda sotto Cassano consta, com'è naturale, d'una miscela di rocce d'ogni provenienza. In quelle vicinanze l'Adda comincia ad incassarsi nella puddinga durissima, che si eleva a pendio assai più ripido che non sia quello del fiume, benchè il fiume travolga colà un detrito non inferiore per mole a quello che costituisce la puddinga. Infatti, dietro misure barometriche da me eseguite, se la puddinga è a Trezzo elevata circa 40 m. sul pelo del fiume, presso Paderno lo è già circa 100 m.: il che darebbe la differenza di circa 40 m. tra il pendio del fiume e quello della puddinga, sulla linea di pochi chilometri. Se verso Rivolta la puddinga si rivela appena al pelo della corrente, a Trezzo forma altissime pareti, e sotto Paderno si eleva per lo meno a 100 m. Le pareti della puddinga sono sempre verticali e non porgono indizio veruno che il letto dell'Adda così incassato sia prodotto d'erosione. Le caverne nelle verticali pareti della puddinga corrispondono a letti marnosi e sabbiosi, che accennano ad erosioni avvenute; ma le pareti stesse sono così verticali che escludono l'idea di dover origine all'erosione del fiume. Sopra la puddinga riposa un terreno alluvionale incoerente di parecchi metri, di cui si osserva la sezione alla stazione di Cassano. Io l'ho studiata a

esce dalla *porta* del ghiacciajo, più quello delle morene che dovevano formarsi al modo ordinario, e ciò durante un lasso di tempo lunghissimo, come lo ammette il sig. Mortillet. Si noti anche che il prodotto dell'evacuamento dovrebbe formare la sola estrema morena più avanzata, mentre tutte le altre si sarebbero formate successivamente durante il periodo di regresso del ghiaccio. Ridotto così il detrito d'evacuazione lacustre a rappresentare la sola morena frontale più avanzata, la montagna calcolata dal Lombardini non rappresenterebbe, nell'ipotesi di Mortillet, che una porzione ben mediocre del detrito alpino accumulato allo sbocco delle nostre grandi valli, e dovrebbe essere molte e molte volte moltiplicata per esprimerne la totalità: bisognerebbe, per dir così, che le Alpi, ridotte a detrito, si allineassero ai piedi delle Alpi. Tutto ciò si porta fuori d'ogni proporzione, tanto più che dalla massa detritica sparsa nella pianura lombarda bisognerebbe sottrarre le alluvioni posteriori all'epoca glaciale ed anche le anteriori provenienti da correnti alpine che deversano direttamente nella pianura, come le valli Brembana, Seriana, ecc.

(1) Gastaldi, *Sur les glacièrs pliocèniques de M.r. Desor*.

Canonica, e la trovai composta di rocce che si direbbero, più che altro, una provenienza di Val-Brembana: assicuro, per lo meno, che dalla Valtellina non vennero sicuramente. Anche il *ceppo* ha tutt'altro aspetto da quello di una congerie di rocce provenienti dalla Valtellina. Sfido a trovarvi un sol ciottolo di serizzo ghiandone, di diorite, d'ofite, o d'altra roccia che sia accertata come proveniente dalla Valtellina. Fin qui dunque non c'è alluvione che rappresenti il *diluvium* di Mortillet e Gastaldi, cioè un' alluvione proveniente dalla valle da cui dipende il lago di Como, che avrebbe riempito il lago stesso, e si sarebbe deposta in quel luogo, prima che gli antichi ghiacciai pigliassero le mosse. Ascendendo invece lungo il fiume, passata la gora di Trezzo, si apre nello stesso ceppo un ampio bacino, le cui sponde sono formate dal ceppo, ossia dalla puddinga. Il fondo di quel bacino è riempito da una accumulazione di detrito incoerente, entro il quale serpeggia l'Adda, avendovi formato un bellissimo terrazzo. Questo detrito veramente ha i caratteri d'alluvione alpina, o piuttosto di un'alpina morena, contenendo le stesse rocce ch'io trovo nelle morene di Lecco, di Brianza, ecc. I massi vanno facendosi più grossi; ogni seno formato dalla puddinga è riempito da cumuli di un tale detrito, e la puddinga stessa è presto in alto coronata dalle morene di Merate e della sponda bergamasca. Evidentemente il ceppo, tutt'altro che alpino, e la gola in esso scavata, preesistevano alla venuta dei ghiacciai, e il ceppo stesso venne coperto e la gola dell'Adda riempita dal detrito glaciale. Se poi si desidera di ciò una di quelle prove che non lasciano più luogo ad obbiezioni, dirò che nello scorso anno, andato per vedere di nuovo i fenomeni già osservati in quel posto, ho potuto verificare che le pareti rocciose, tutte di puro ceppo, che fiancheggiano l'Adda in quel tronco così pittoresco che prende il nome dalle *Conche di Paderno,* sono evidentemente, maravigliosamente lisciate, arrotondate, e tutti i seni, i crepacci nel ceppo sono riempiti di morena con grossi massi erratici. Insomma il ceppo, che rappresenta qui l'antica alluvione di Gastaldi e Mortillet, non ha altri rapporti coll'antico ghiacciajo dell'Adda se non questo, che gli lasciò aperta la via per mezzo della spaccatura aperta in continuazione della gran chiusa alpina dell'Adda, e se la lasciò ingombrare di detrito morenico, e si lasciò esso medesimo rodere, lisciare, arrotondare, come fecero tutte le rocce più antiche del ghiacciajo che ha percorso la valle dalle cime più elevate dell'Alpi fino ai limiti settentrionali dell'attuale pianura.

Le figure 61-64 sono destinate a mettere in tutta evidenza i fatti riportati. La fig. 61 presenta una sezione geologica, presa lungo l'Adda fra Cavriate e Brembate-di-sotto. Il tronco figuratovi è già fuori dei limiti del terreno glaciale.

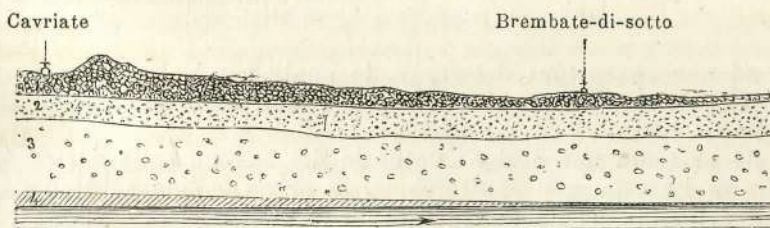



Fig. 61. — Sezione tra Cavriate e Brembate-di-sotto.

1. Alluvione a grossi ciottoli. — 2. Ceppo gentile. — 3. Ceppo grossolano. — 4. Marne probabilmente eoceniche.

Sulla marne probabilmente eoceniche, fortemente raddrizzate, noi vediamo riposare il ceppo a stratificazione sensibilmente orizzontale. Esso è coperto da un'alluvione di grossi ciottoli, in cui io scorgerei l'alluvione fluvio-glaciale, che si stendeva sull'altipiano a mezzodì del grande ghiacciajo dell'Adda, derivando in parte dalle morene che il ghiacciajo deponeva sull'altipiano, e forse in parte dal Brembo e da' suoi confluenti. Scomparso il ghiacciajo, l'Adda incise tanto il terreno mo-

renico, quanto l'alluvione fluvio-glaciale, ed abbassandosi entro la gola di Trezzo, non potè più nuocere all'alluvione che copre l'altipiano.

La fig. 62, che presenta una veduta dell'Adda fra Trezzo e Bottanuco, mette sott'occhio l'ampio bacino aperto nel ceppo, e la gran massa di alluvione fluvio-glaciale, deposta in seno ad esso bacino e che presenta ora un altipiano interno,

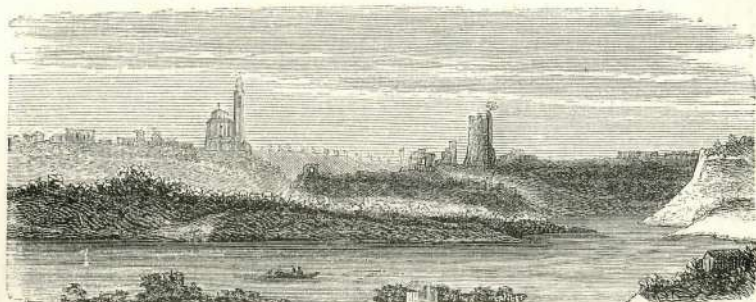



Fig. 62. — Veduta dell'Adda fra Trezzo e Bottanuco.

molto più basso del grande altipiano, formato dal ceppo. La fig. 63, in sussidio della precedente, presenta uno spaccato da Trezzo a Bottanuco, cioè una sezione teorica del suddetto bacino, da cui risultano evidenti i rapporti delle diverse formazioni, e principalmente il fatto che il detrito glaciale si depose in seno ad una

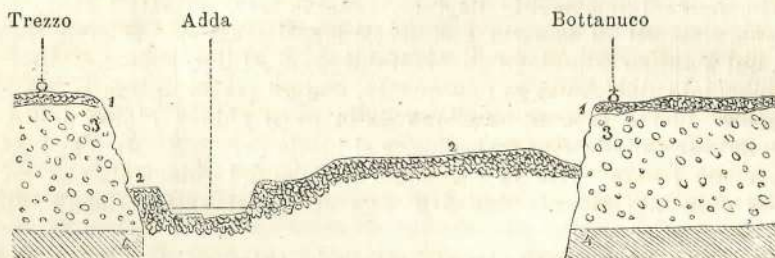



Fig. 63. — Sezione attraverso l'Adda fra Trezzo e Bottanuco.

1. Alluvione quaternaria. — 2. Alluvione fluvio-glaciale. — 3. Ceppo pliocenico. — 4 Marne eoceniche.

chiusa, cioè ad una spaccatura del *ceppo*, la quale non è che la porzione estrema meridionale della grande chiusa dell'Adda, che di lì ascende fino alle alture dello Spluga e dello Stelvio.

La fig. 64 presenta una sezione naturale del terreno sulla destra dell'Adda, tra le Conche di Paderno e il Monterobbio, la prima collina subalpina che si incontri a nord dell'altipiano pliocenico coperto di colline moreniche. Il ceppo orizzontale riposa sul nummulitico raddrizzato e contorto. Una depressione tra i due terreni è riempita dal terreno glaciale, che si trova poi formare un sistema di morene sull'altipiano da Paderno a Merate alla base del Monterobbio.

Quando domandai la prima volta a me stesso a qual epoca poteva appartenere quel vecchio conglomerato, che vedesi coperto e riempito a quel modo dal terreno glaciale, credetti dapprima che si trattasse di un'alluvione miocenica, analoga per natura e identica per età ai *Nagelfluh* miocenici della Svizzera (1). Ma alcune preziose scoperte mi posero ben tosto in grado di precisare l'epoca di quella vasta formazione subalpina.

(1) *Note ad un Corso di geologia*, vol. I, §§ 563-564.

Nel mio *Corso di geologia* (1) raccolsi un numero più che sufficiente di argomenti per dimostrare come i ceppi subalpini non rappresentano, sott'altra forma, che i terreni pliocenici già riconosciuti a piè dell'Apennino e di una parte delle Alpi. Quel ceppo non rappresenta altro che un gran delta, o piuttosto come un sistema di delta torrenziali, che veniva mano mano formandosi coi depositi dei

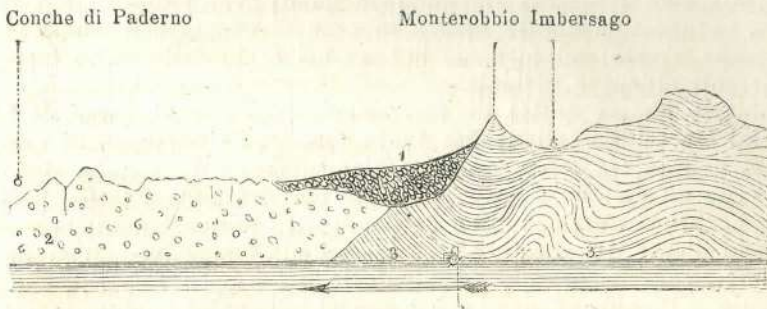



Fig. 64. — Sezione tra le Conche di Paderno e Monterobbio.

1. Sfacelo glaciale. — 2. Ceppo. — 3. Marne, puddinghe e calcari nummulitici.

fiumi, scendenti dalle Prealpi, le quali fiancheggiavano allora immediamente il mare pliocenico, come le montagne dell'Istria e della Dalmazia fiancheggiano attualmente l'Adriatico. Quel sistema di delta si avanzava, inoltrandosi dal piè delle Prealpi, verso il mezzo dell'antico golfo lombardo-veneto, come ora il delta del Po si inoltra dai limiti della pianura verso il mezzo dell'Adriatico. Ma i fiumi pliocenici, sboccando immediatamente dalle montagne in mare, non vi deponevano altro che un detrito grossolano, d'indole torrenziale; mentre attualmente le acque del Po, libere dal grossolano detrito nell'alta regione dei confluenti, non tributano al mare che un fango argilloso. Quell'antica alluvione torrenziale, che noi chiamiamo ceppo, copriva il littorale pliocenico, guadagnando terreno sempre più verso le regioni dei bassi fondi, ove posavano intanto è sabbie e argille popolate da conchiglie marine, finchè l'alluvione, sempre più avanzandosi, veniva a sovrapporsi alle sabbie e alle argille marine, che cedevano luogo al ceppo alluvionale. Il ceppo dunque è una formazione pliocenica, contemporanea agli strati marini, a cui si sostituisce nei punti più avanzati verso la pianura, ossia verso l'antico mare.

Questa è una teorica che non pretendeva certo d'imporsi a nessuno senza le debite prove: e credevo davvero di averne raccolto un numero bastante. Nella valle del Brembo, p. es., abbiamo sulla destra, presso Almenno, le argille azzurre plioceniche, sovrapposte immediatamente agli strati sollevati della *creta*. Sulla sinistra dello stesso fiume, gli stessi strati cretacei sono coperti immediatamente dal ceppo. Le argille e il ceppo sono qui evidentemente contemporanee. Ma sarebbe troppo lungo il riportare qui e il discutere i fatti che dimostrano non esistere

(1) Vol. II, dal § 1024 al 1032. Il sig. Omboni, risuscitando un errore detto dal prof. L. Maggi nei *Rendiconti dell'Istituto Lombardo* del 1869, asserisce che il ceppo dell'Adda è d'*origine glaciale* e fatto con materiali i quali *possono essere venuti* tanto dalla Valle Brembana quanto dalla Valtellina. Per tutta prova gli basta l'autorità del prof. Maggi: gli argomenti da me addotti valgono un bel nulla. È grazioso quel *possono esser venuti!* Ma quei ciottoli vennero dalla Valle Brembana o dalla Valtellina? Il sig. Omboni avrebbe dovuto assicurarsene prima di entrare in questo argomento, tanto più che le mie osservazioni furono fatte posteriormente alla pubblicazione del sig. Maggi, e in compagnia del defunto Spreafico e del Taramelli, dei quali il sig. Omboni apprezza certamente il valore geologico. Quanto a me, dico e ripeto che non esiste nel ceppo un sol ciottolo di Valtellina. Se poi il ceppo è glaciale, come può dire il sig. Omboni, sei linee più sotto, che altrettanto deve dirsi del ceppo dell'Oglio e degli altri, cioè che per lui *fanno parte dell'alluvione antica?* Sono al tempo stesso *glaciali* ed *alluvionali?* (*Atti della Società Italiana di scienze naturali*, vol. XVIII, seduta del 28 maggio 1876).

punto nè alluvione, nè terreno qualunque fra il pliocene e il glaciale, e l'antica alluvione preglaciale del Mortillet non essere altro che una alluvione pliocenica (1).

I rapporti tra il *ceppo* e il terreno glaciale di Lombardia sono queglino stessi che si verificano fra il *ceppo* fra cui è incassato il Tagliamento per un ben lungo tratto del suo corso, riconosciuto egualmente come pliocenico dal Taramelli, e il terreno glaciale che si osserva dovunque in quella gran valle. Il lago di Cavazzo, per esempio, occupa una *chiusa* aperta in seno al ceppo, e il ceppo stesso è coperto di morene e arrotondato, come lo sono nel resto della valle tutte le formazioni preesistenti all'epoca glaciale.

È indubitato che si tratta di formazioni analoghe ai ceppi di Lombardia, quando il sig. Gastaldi sostiene con tanta fermezza l'esistenza di una alluvione antica che si colloca tra il terreno pliocenico marino e il glaciale. Per l'anfiteatro d'Ivrea si vede ch'egli ha potuto prendere per *diluvium* i letti glaciali marini, che abbiam veduto formare la base dell'anfiteatro stesso. Quanto al conglomerato che si vede al Ponte dei Preti, allo sbocco della Chiusella nell'arena dell'anfiteatro suddetto, sarebbe proprio l'equivalente dei ceppi lombardi, con questo di più, che contiene in abbondanza i fossili marini i quali nei nostri ceppi non furono finora con certezza scoperti. Dicasi lo stesso dei conglomerati che stanno alla base dell'anfiteatro della Dora Riparia, e sembrano quelli che hanno specialmente persuaso il signor Gastaldi ad ammettere ed a sostenere così caldamente il suo *diluvium* preglaciale. In tutti questi casi, insomma, i conglomerati preglaciali o subglaciali non rappresenterebbero che altrettanti coni di dejezione pliocenica, formantisi allo sbocco di quelle valli, le quali fin dall'epoca pliocenica non presentavano i caratteri dei *fiords* come le grandi valli lombarde, od erano *fiords* già colmati dalle alluvioni in quell'epoca, sicchè il detrito alpino poteva già fin d'allora raggiungere il mare.

Quanto alle valli lombarde, ora occupate dai laghi, ripeto che, se i laghi stessi non esistevano, esistevano però le gole da loro attualmente occupate; sicchè i ghiacciai poterono venire ad occuparle essi medesimi, percorrerle da cima a fondo, spingendosi fino ai limiti settentrionali dell'attuale pianura. Così è sciolto l'arduo problema per cui si erano tanto lambiccato il cervello i geologi, pei quali erano un mistero quei massi erratici enormi che, sorvolando gli abissi dei nostri laghi, erano passati al di qua e venuti a collocarsi sulle cime e sui fianchi dei monti fino all'altezza di mille metri, ed a formare quasi un'enorme orlatura ciclopica alla pianura, composta di quel detrito alpino a cui i nostri laghi formano ora una barriera insormontabile. Ma che avvenne dopo che i ghiacciai ebbero occupato i *fiords* ed erano venuti a scaricare le loro morene sul fondo dell'antico Adriatico, in cui gli stessi *fiords* si aprivano a sud?

Il sig. Desor ha messo fuori da lungo tempo una sua teorica molto semplice e naturale, la quale, secondo me, ha unicamente il difetto di essere incompleta, insufficiente, non avendo egli potuto tener calcolo di fatti i quali vennero in luce assai tempo dopo che l'aveva emessa. Credo opportuno di prendere la teoria di Desor quale è esposta nella sua recente opera *Paysage morainique,* che dev'essere naturalmente, come è l'ultima, la più esatta espressione delle sue idee. Dice dunque l'illustre mio amico aver egli pensato, consenziente il sig. Escher della Linth, già rapito alla scienza da molti anni, che, durante una prima invasione dei ghiacciai, ebbero tempo i laghi di essere riempiti di ghiaccio prima che lo fossero d'alluvioni. Ritiratisi quei primi ghiacciai, il ghiaccio rimase ancora nei luoghi più pro-

(1) I fatti ai quali si accenna o si allude sono abbastanza largamente descritti e discussi al luogo citato nel mio *Corso di geologia.* Dal modo con cui ne parla il sig. Omboni nel suo scritto, citato nella nota precedente, si vede chiaramente che egli non ha avuto sott'occhio che il presente cenno, quale è qui riportato tal quale dalla mia Memoria. *Il mare glaciale a' piedi delle Alpi.* Ma la questione è trattata diffusamente nel mio *Corso di geologia* e vi occupa sette pagine fitte di stampa, ch'io non volli qui riprodurre per non ingrossare di troppo la mole di questo libro; tanto più che, dal punto di vista della nostra questione, non importa gran fatto se il ceppo appartenga piuttosto al pliocene che ad un altro terreno qualunque.

fondi, coperto di detrito morenico. Venuta una seconda invasione, i ghiacciai si spinsero innanzi le morene giacenti su quel fondo di ghiaccio che occupava ciascun lago, e andarono a deporle alla sua estremità meridionale. Venuta l' epoca del regresso dei ghiacciai, e scomparso il ghiaccio anche dai fondi così lungo tempo occupati, rimase il vuoto, ch'era stato per questo mezzo protetto, e si converse in lago.

Mi permetta il signor Desor ch'io non veda il bisogno, dirò, di tutta questa ginnastica glaciale così complicata. Egli non negherà certamente che un ghiacciajo, incontrando una depressione sul suo cammino, la riempie e, se ha potenza sufficiente, la riempie del tutto; e raggiunto il margine del bacino dove sia più depresso, per la sua plasticità o fluidità, si riversa al di fuori del bacino stesso, portando ugualmente al di fuori le sue morene, che gli si accumulano sulla fronte. Se i ghiacciai discesero dalle Alpi due volte, dovettero l'una e l'altra riempire i bacini lacustri, e due volte questi uscirne vuoti e convertirsi in laghi. L'ipotesi è per questo lato almeno superflua. Per spiegare la formazione dei laghi al modo del Desor basta il supporre, o piuttosto sapere, che i ghiacciai discesero dalle Alpi quando le depressioni, ora occupate dai laghi, non erano state ancora colmate dall' alluvione: i ghiacciai le avrebbero occupate, le avrebbero protette da qualunque altro ingombro; ritirandosi, le avrebbero lasciate vuote, ed esse si sarebbero allora convertite in laghi. In questo senso io accetto la teorica di Desor, ma la giudico al tempo stesso, come dissi, incompleta ed insufficiente. Voglio dire che la teorica di Desor sarebbe come la prima parte di un ragionamento che ne aspetta una seconda per essere concludente. Constando, infatti, che le gole occupate ora dai laghi erano *fiords*, che esse cioè si aprivano in mare, e che i ghiacciai lo raggiunsero e fabbricarono sul suo fondo i loro anfiteatri, si vedrebbe benissimo come i ghiacciai abbiano potuto riempire, proteggere, salvare per altri tempi quei *fiords;* ma non si vedrebbe poi come questi abbiano potuto rimanere intercettati e convertirsi in laghi d'acqua dolce.

Il signor Omboni ha adottato in massima la teorica di Desor con qualche aggiunta non indifferente, mentre ammette che la valle del Po era, sulla fine dell' epoca pliocenica, un *gran golfo del mare Adriatico.* Egli però non si esprime punto in modo da farci capire e nemmeno supporre che le depressioni occupate dai laghi si aprissero direttamente in mare a guisa di *fiords,* e molto meno che i ghiacciai giungessero al mare, e fabbricassero sul fondo di *quel gran golfo del mare Adriatico* i loro anfiteatri. Anzi ammette che prima dell'arrivo dei ghiacciai si formasse un'alluvione, che si estendeva come terra ferma, e ristringeva il golfo, e che su questa alluvione vennero più tardi i ghiacciai a collocarsi e a deporre le loro morene. Dunque anche la teorica dell'Omboni, per quanto aggiunga a quella del Desor, la lascia ancora incompleta.

Infatti, ad onta di certi reclami di priorità, io credo ancora di essere stato il primo ad emettere, benchè molto riservatamente, l' idea che i nostri laghi avevano ancora al principio e durante l'epoca glaciale il carattere di *fiords,* i quali vennero occupati dai ghiacciai, ed il primo a proporre una teorica sulla loro trasformazione in laghi, che non so ancora fino ad oggi esposta da nessun altro (1).

(1) Benchè, come dissi, la mia idea fosse espressa molto riservatamente fin dal 1864, quando scriveva le mie *Note ad un Corso di geologia*, era però chiara ed esplicita. Dopo aver esposto ad un dipresso la teorica di Desor riguardo alla formazione dei nostri laghi, ed aver detto che l'antica alluvione preglaciale (quella che si formava non all'estremità meridionale ma all'estremità settentrionale delle valli ora occupate dai laghi) era intercettata dai laghi, o non poteva ad ogni modo espandersi sulla pianura lombarda, avvertiva così: « Non ho detto a caso testè che l'antica alluvione era inter- » cettata dai laghi o *non poteva ad ogni modo espandersi sulla pianura*, perchè l' idea, credo non » mai espressa da nessuno, che le nostre vallate alpine si aprissero direttamente in mare, come i *can-* » *noni* dell'America, come i *fiords* della Groenlandia, non parmi da rifiutarsi senza discussione. In » questo caso le morene avrebbero sbarrato le valli, e determinata la formazione dei laghi ». Il primo volume delle *Note* (prima edizione) porta la data del 1865. La questione di priorità è sollevata, o piuttosto risollevata molto vivamente dal professore Omboni nella sua lettera al sig. Sordelli, letta alla Società Italiana di scienze naturali nella seduta 28 maggio 1876 e pubblicata negli *Atti* sotto il titolo

A mia giustificazione riporterò per intero il passo della mia Memoria *Il mare glaciale ai piedi delle Alpi* relativo a questa questione, perchè contiene quanto io ho messo fuori in proposito fino ad oggi in cui mi accingo a dar pieno svolgimento alla mia teorica. Nella citata Memoria adunque, dopo aver dimostrato una prima proposizione, cioè che *il periodo glaciale succedette immediatamente, senza nessun intervallo al pliocenico,* ed una seconda, cioè che *le sabbie subapennine sono equivalenti, cioè contemporanee del terreno glaciale,* continuava così:

« Rimane la terza proposizione: ed è, che *durante l' epoca glaciale il mare non erasi ancora ritirato dalle Alpi, e ne riempiva le gole, che profondamente le incidono, a somiglianza dei* fiords *delle regioni circumpolari, sicchè i nostri grandi laghi non sono che porzioni di antichi* fiords *intercettati, ossia sbarrati dalle morene verso mezzodì.*

« È questa una teorica che io professo nella scuola già da molti anni, ma alla quale non diedi mai un sufficente sviluppo, sempre nella speranza di raccogliere quel numero sufficente di prove che io reputava necessario per ridurre la tesi all'evidenza. Nelle mie *Note ad un Corso di geologia* io non feci che accennare appena a questa idea, e non le accordai che un breve sviluppo nel mio *Corso* di recente pubblicazione. Intanto la stessa idea era venuta alla mente dell' illustre scienziato tedesco Oscar Peschel, il quale ha tutto il merito di averle dato sviluppo ed evidenza nel suo scritto che ha per titolo *Die Fiords bildungen.* Tuttavia, per non essere accusato di plagio, e per non rinunciare nemmeno a un po' di diritto di priorità, avvertirò il lettore che lo scritto del Peschel fu pubblicato la prima volta nel 1866, nè io potei averlo fra le mani prima che fosse inserito in un suo volume di questioni diverse, pubblicato nel 1870 (1) (che conobbi anche questo assai tardi), mentre il primo volume delle mie *Note ad un Corso di geologia* (prima edizione) porta la data del 1865. Per render chiaro al lettore come io intendessi la cosa, prima che le scoperte di Balerna e Bernate la rendessero tanto evidente, credo bene di qui trascrivere l' intero paragrafo del mio *Corso di geologia* (2) nel quale esponeva brevemente (secondo il mio modo di vedere) il modo con cui gli antichi *fiords* dell'epoca glaciale avevano dato origine ai nostri laghi subalpini:

« Vi ha un altro modo per cui può, mediante un ghiacciajo, determinarsi un
» lago. Non vi ha nulla infatti d' impossibile che la stessa valle principale, per-
» corsa dal ghiacciajo, possa, ritirandosi il ghiacciajo, convertirsi in lago. Ciò
» avverrebbe quando le morene frontali, che sbarrano la valle principale, fossero

Il mare glaciale e il pliocene ai piedi delle Alpi lombarde. La sua teorica, esposta già nella sua Memoria *I ghiacciai antichi e il terreno erratico di Lombardia,* pubblicata nel 1861 nel vol. III degli *Atti* della Società suddetta, ha certamente, come s'è visto, dei grandi punti di contatto colla mia; ma è poi fondamentalmente diversa. Il sig. Omboni non parla nè di *fiords*, nè di sbarramento, nè di arrivo di ghiacciai in mare, nè di morene o di anfiteatri morenici sottomarini. Tutto questo non è accennato, anzi è escluso assolutamente dalla teorica del sig. Omboni. Vuolsi di più? In questa Memoria *Il mare glaciale, ecc.*, nella quale il sig. Omboni mi move contro una questione di priorità, combatte espressamente, e in ordine ai fatti e più ancora in ordine alle idee, quanto io ho scritto in proposito dei depositi di Balerna, di Cassina Rizzardi; e non vuole ammettere assolutamente che i ghiacciai siano discesi in mare e vi abbiano eretto i loro anfiteatri morenici. Come vuol dunque rivendicare a sè la priorità di una teorica, mentre nega i fatti e le deduzioni a cui la stessa teorica si appoggia? Fin che mi resta la priorità dell' idea emessa, ed ora dimostrata all' esuberanza, della discesa in mare dei ghiacciai lombardi, mi resta la priorità di una teorica che l'idea stessa ha per base necessaria. E quando venissi accusato di non averla espressa con sufficiente chiarezza nel passo delle mie *Note* or ora citato, e nell'altro assai più esplicito del mio *Corso di geologia* (Vol. II, § 1159) che sto per riportare alla lettera, ne riporterò anche un altro dall' opera stessa, ed è questo: « Io ritengo indubitatamente che diversi ghiacciai alpini raggiunsero il mare entro le angustie dei *fiords.* L' assenza delle morene frontali dell' antico ghiacciajo della Piave non lascia nemmeno dubitare, secondo le osservazioni del Taramelli, che quel ghiacciajo non abbia raggiunto il libero mare (*Corso di geologia,* vol. II, § 1160. »

(1) Oscar Peschel, *Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde als Versuch einer Morphologie der Erdoberfläche;* Leipzig, 1870. Vedremo ben tosto come io mi sia ingannato attribuendo al Peschel una teorica ben diversa da quella che egli aveva messa fuori nel citato suo scritto.

(2) Stoppani, *Corso di geologia,* vol. II, § 1159. Milano 1873.

„ in grado di trattenere il deflusso delle acque. Io credo indubitatamente che sia
„ questa l'origine dei grandi laghi lombardi, che occupano appunto le parti più
„ depresse delle grandi vallate alpine, già occupate dagli antichi ghiacciai, e si
„ arrestano precisamente ai limiti interni delle morene frontali. È un fatto che i
„ nostri laghi lombardi si sprofondano di centinaja di metri sotto il livello del
„ mare; è un altro fatto che tra i laghi e il mare non si frappongono che il ter-
„ reno glaciale e le alluvioni della pianura, composte per la massima parte di
„ terreno glaciale, demolito e distribuito posteriormente dai fiumi. Togliamo i ter-
„ reni glaciali e alluvionali, e sarà necessariamente stabilita la comunicazione del
„ mare coi laghi. Quanto avverrebbe esportando le morene e le dipendenti allu-
„ vioni, doveva necessariamente verificarsi quando le morene e le alluvioni non
„ esistevano. Prima che i ghiacciai si avanzassero, il mare doveva dunque insi-
„ nuarsi nelle nostre valli alpine, e i nostri laghi dovevano presentarsi precisa-
„ mente come i *fiords* della Scozia, della Groenlandia, di tutte le coste più set-
„ tentrionali. I ghiacciai discesero lungo quegli antichi *fiords*, precisamente come
„ discendono ora nei *fiords* delle regioni nordiche. Ove i ghiacciai si arrestavano,
„ dovevano, coll'immane cumulo delle morene frontali, ingombrare i *fiords*. Quando
„ i ghiacciai si ritiravano, rimase la barriera; e le valli, libere dal ghiacciajo,
„ riempiendosi d'acqua, divennero laghi. Ciò non avvenne dei *fiords* nordici per-
„ chè i ghiacciai, avendo avuto colà, come vedremo, uno sviluppo molto maggiore,
„ dovettero raggiungere il libero mare, ove le morene frontali non poterono levarsi
„ fino al pelo delle acque, tanto più che venivano mano mano disfatte e disperse
„ dai ghiacci galleggianti, i quali si staccavano, come avviene ora, dalla fronte
„ dei ghiacciai. Tale dispersione era invece resa impossibile dalla estrema angustia
„ dei nostri antichi *fiords*, che si verifica precisamente ai limiti ove si arrestano
„ i nostri laghi e si formarono le morene frontali dei nostri antichi ghiacciai. „

« Le scoperte di Balerna e di Bernate alleviano di poco la soma al geologo il quale voglia dimostrare l'origine dei laghi subalpini per la via suddetta. Bisognerebbe anzitutto cercare nella regione degli emissarî del lago Maggiore, del lago d'Iseo, del lago di Garda, dei fatti somiglianti o analoghi a quelli scoperti tra il lago di Como e quello di Lugano. Bisognerebbe poi rintracciare negl'interni di tutti i nostri laghi subalpini gl'indizî della permanenza del mare durante l'epoca pliocenica. Si tratta, insomma, di scrivere per intero una gran pagina della storia geologica delle Alpi, di cui non sono vergate che le prime linee. Ma queste prime linee non saranno giammai da cancellarsi, ed esse affermano che nell' epoca glaciale il mare non erasi ancora ritirato dalle Alpi: e che il doppio ghiacciajo, prodotto dalla confluenza dei due grandi ghiacciai del lago di Como e del lago di Lugano, trovava il mare nei dintorni di Varese, di Mendrisio, di Balerna e di Como: che pertanto, almeno nel lago di Como, che tanto si sprofonda sotto il livello delle argille plioceniche marine, come sotto il livello del mare attuale, il mare doveva insinuarsi certamente fino allo sbocco della Valtellina: che l'antico ghiacciajo, il quale discendeva dalla Valtellina, dovette colmare fino a enorme altezza quell'antico *fiord* di Lombardia, come gli attuali ghiacciai colmano almeno in parte i *fiords* della Groenlandia e delle altre terre polari.

« Chi esamina la trincea della ferrovia del Gottardo (bisognerebbe andarla a veder presto, intanto che il taglio è fresco fra Chiasso e le Fornaci di Balerna) deve credere veramente di assistere all'atto dello sbarramento dei *fiords* di Lombardia, operato dagli antichi ghiacciai delle Alpi lombarde. Le argille azzurre, regolarmente stratificate, coi loro fossili marini, mettono l'osservatore al punto in cui il mare lambiva il piede delle Prealpi e si insinuava pacifico nelle valli, che allora erano *fiords* ed ora sono laghi. Ma il ghiacciajo scende dalle Alpi; esso ha già corso la Valtellina; ha già colmato il *fiord* del lago di Como, e per la doppia via di Menaggio (pel lago di Lugano) e di Como ha colmato i golfi ed è giunto finalmente ai limiti dell'aperto mare. L'osservatore vede, nello spaccato della trincea di Balerna, sdrucciolare i primi ciottoli dalla fronte del ghiacciajo e sprofondarsi nelle argille che stanno formandosi sul fondo del mare. I ciottoli glaciali

spesseggiano sempre più, e il mare intende, come può, a lavare, a rimestare, a distribuire quegli strani materiali: e la trincea mostra il risultato di questo lavoro negli strati ciottolosi, sabbiosi e argillosi, che coprono le pure argille. Ma ormai non sono più ciottoli che sdrucciolano dalla fronte del ghiacciajo: è l'intera morena che si rovescia nel mare, che lo colma, lo respinge. Ecco nelle imponenti morene di pretta indole glaciale, che sorgono alte sulle argille e sugli strati di rimestamento, che ingombrano tutto il bacino di Balerna, che si allargano per molti chilometri dal piede delle montagne verso la pianura, che chiudono entro una cerchia duplice o triplice di colli il lago di Como; ecco, dico, in questi imponenti ammassi caotici di fanghi, di sabbie, di ciottoli, di massi alpini, la formidabile sbarra levata tra il mare a Sud, e la terra a Nord. Ma viene il tempo in cui i ghiacciai cominciano a ritirarsi, ed alla loro azione al piede delle Prealpi si sostituisce l'opera de' fiumi. Le morene danno luogo ai delta. Il mare va sempre più ritirandosi avanti alla pianura che si avanza. La gola alpina a settentrione, prima *fiord* occupato dal mare, poi letto di uno smisurato ghiacciajo, si converte finalmente, quando fu vuota di ghiaccio, in una conca immensa, destinata a raccogliere le acque dell'Adda e di cento torrenti, ed a chiamarsi Lario. La stessa origine ebbero i fratelli maggiori o minori che dormono o s'agitano ai piedi delle Alpi entro un letto di rupi, di verdure e di fiori (1). »

Si sarà notato come io, in uno dei precedenti periodi riportati dalla mia Memoria pubblicata nell'agosto del 1874, per difendere la mia priorità, attribuisco al sig. O. Peschel le stesse mie idee. Ciò è affatto erroneo, e in questo errore fui condotto dall'aver potuto troppo tardi procurarmi gli scritti dell'illustre fisico, e dovuto intanto accontentarmi di rilevarne le dottrine da ciò che trovai riportato dal signor Eliseo Reclus nella sua opera *La Terre* (Vol. II) pubblicata nel 1869. È in essa, a pag. 173, che si legge il pezzo seguente: « Les *fiords*, ces » antiques découpures du littoral, ont été maintenus dans leur état primitif par » le séjour prolongé des glacièrs. » E qui fa una nota, colla quale rimanda all'articolo pubblicato da O. Peschel nel 1866 nell'*Ausland;* poi sviluppa la citata proposizione, brevemente ma nettamente, e in modo consentaneo alle mie idee, a lui certamente sconosciute. Venendo in seguito a parlare dei laghi lombardi *devenus des sortes de* fiords *continentaux*, e dicendo che *ces bassins lacustres sont fermés au midi par de larges moraines*, cita di nuovo il Peschel. Ma nulla di tutto questo che dice il Reclus si trova nell' articolo di Peschel pubblicato nel 1866. Vi parla bensì dei laghi alpini, e specialmente degli italiani, che vennero occupati dai ghiacciai. Trova che le teorie della riescavazione incontra delle difficoltà. Ogni difficoltà tuttavia, dice egli, sparisce, quando i laghi italiani si vogliano considerare come *fiords* di un primitivo mare lombardo, cosa tanto più facile, in quanto il loro fondo è in alcuni punti inferiore al livello dell'Adriatico. Ma non parla nè di ghiacciai che giunsero al mare, nè di sbarramento operato dalle morene, e, se ho ben inteso, gli antichi *fiords* d' Italia sarebbero stati intercettati da un sollevamento delle coste. Soltanto nel volume pubblicato sotto il titolo *Neue Probleme* nel 1870 e ripubblicato nel 1876, all'articolo *Die Fiordbildungen* è fatta un' aggiunta, in cui è detto attendibile l' idea che i *fiords* manchino nelle regioni più calde perchè, appena abbandonati dai ghiacciai, si riempirono d'alluvione. Ma quest'ultima è attribuita al Reclus, a cui ugualmente attribuisce quella che il rilievo allo sbocco dei *fiords* sia dovuto alle morene terminali sottomarine. Resta adunque al sig. Reclus tutto il merito d'avere, quasi per intuizione, colto nel segno emettendo nel 1869 un' idea, che io aveva però già espressa e pubblicata nel 1865, svolta nelle mie pubbliche lezioni in Milano assai prima nel 1869 e nel mio *Corso di geologia* pubblicato nel 1873, e che passo a svolgere di nuovo più ampiamente e a completare in base ai fatti raccolti dopo il principio del 1874, e ai nuovi riflessi da essi suggeritimi.

(1) Stoppani, *Il mare glaciale a' piedi delle Alpi*, pag. 51-54.

3. TEORICA DELLA FORMAZIONE DEI LAGHI LOMBARDI IN BASE AD UNO STUDIO SULL'ORIGINE E SULLE CONDIZIONI DEI *FIORDS* ANTERIORMENTE E POSTERIORMENTE ALL'INVASIONE DEGLI ANTICHI GHIACCIAI.

Premetto a titolo di richiamo alcuni fatti i quali risultano da quanto fu esposto fin qui: 1.° *fatto*. — Anteriormente alla discesa dei ghiacciai giù per le valli alpine fino al mare pliocenico che flagellava ancora i piedi delle Prealpi, si deposero i terreni pliocenici principalmente sotto la forma marina delle argille azzurre, o sotto la forma torrenziale di estuario o di cono di dejezione, che è quella del *ceppo*. Le due forme si vedono associarsi o mutuamente sostituirsi sulla zona stessa in cui si distesero più tardi gli anfiteatri morenici ai limiti settentrionali della pianura lombarda. Dove manca il terreno morenico, le argille azzurre e i ceppi compariscono alla superficie.

2.° *fatto*. — Nè le argille azzurre, nè i ceppi lombardi accusano in nessun modo la loro provenienza dalle Alpi, ossia dalle valli alpine in immediata corrispondenza colle rocce in questione. Così, per esempio, come si è dimostrato sopra, il ceppo dell'Adda, a Trezzo, Brembate, ecc. non derivò punto i materiali di cui è composto dall'alta valle dell'Adda, ossia dalle Alpi della Valtellina, con cui è ora in immediata corrispondenza, ma dalle Prealpi in corrispondenza colle valli Brembana o Seriana.

3.° *fatto*. — I ghiacciai discesero quando le argille ed il ceppo erano già, almeno in massa, deposti, e sovrapposero ad essi le loro morene.

4.° *fatto*. — Le gole alpine esistevano già quando discesero i ghiacciai, e servirono ad essi di emissario. Questo fatto è comune a tutta l'alta Italia, riguardando tanto la Dora Riparia all' estremità occidentale della zona degli anfiteatri, quanto il Tagliamento all' estremità orientale della stessa zona. Furono i ghiacciai che arrotondarono e coprirono ovunque di detriti morenici i fianchi delle grandi valli alpine, e colmarono di morene insinuate i seni e le valli laterali. Anche la gola dell'Adda, scavata nel ceppo a mezzodì del lago di Lecco, esisteva prima della venuta del ghiacciajo di Valtellina e gli servì d' emissario. Infatti il ceppo stesso è lisciato, arrotondato, e la gola dell'Adda, i seni e le crepature del ceppo sono riempiti di terreno morenico.

5.° *fatto*. — I ghiacciai, giunti allo sbocco delle rispettive gole, trovarono ancora il mare, ed eressero sul suo fondo i loro anfiteatri; fatto dimostrato ampiamente per gli anfiteatri di Como, del lago Maggiore e d'Ivrea.

Confesso che ci sono delle difficoltà a conciliare questi fatti tra loro. Per esempio: quando ebbero luogo le spaccature che formarono le gole alpine, prolungantisi dalle somme vette delle Alpi ai limiti settentrionali della pianura lombarda? Certamente dopo che il ceppo si era formato. Ma allora come si spiega che delle due forme sincrone, ceppo e argille, questo sia così evidentemente spaccato in corrispondenza colla valle dell'Adda pel ramo di Lecco, mentre non è visibile spaccatura nessuna in corrispondenza col lago di Como, dove le argille sembrano formare davanti al lago una barriera tutta unita come l'anfiteatro che sovr'esse riposa? Io credo molto probabile che si spaccarono del pari il ceppo e le argille; ma si deve alle condizioni speciali delle due rocce, se nel ceppo è così visibile la spaccatura, la quale non fu rimarcata nelle argille. È a tutti noto che i filoni metallici, i quali non sono che riempimenti di spaccature, mentre si mostrano larghi e ben decisi dove la roccia che li incassa è dura, facilmente si perdono dove la roccia è molle, per riapparire di nuovo ben definiti dove la materia di nuovo s' indùra. Ciò vuol dire che le rocce molli, come gli schisti argillosi, per esempio, si stirano, si frantumano, e in luogo di lasciare una spaccatura netta, lasciano un ingombro di tritume. Sono cose sì note, del resto, e che ciascuno può verificare anche alla superficie ogni volta che un salto, una crepatura intacca una massa rocciosa composta di strati in parte duri come i calcari compatti, e in

parte molli come gli schisti marnosi. Se parliamo d'argille, di fango, si comprende assai più facilmente come debbano stirarsi, screpolare, scomporsi; ma non s'intenderebbe facilmente del pari come possano presentare una vera spaccatura. Si noti che ancora al presente quelle argille e quei fanghi marini sottoposti alle morene di Como, di Balerna, ecc. sono plastici non solo, ma scorrevoli: e lo sanno per bene gli esecutori della trincea ferroviaria da Camerlata a Como. Infine non trovo nessuna contraddizione tra il fatto che esiste una gola, una spaccatura nel durissimo ceppo pliocenico di Trezzo mentre non esista e non si vede nelle molli argille di Camerlata.

Ad ogni modo, i fatti premessi sono tutti dimostrati; sono certi. Da essi risulta quest'altro fatto, corollario evidente degli altri: che le valli alpine, essendo fino ai limiti settentrionali della pianura lombarda, allora occupata dal mare, aperte molto al di sotto del livello del mare stesso, questo doveva in esse insinuarsi, stendendo in seno alle Alpi diverse braccia. Risulta insomma che le valli alpine, prima che fossero percorse dagli antichi ghiacciai, erano *fiords*.

Sa il lettore che i *fiords* non sono che baje allungate, o canali che incidono i littorali di certi paesi, per esempio, della Groenlandia occidentale, scavati nella viva roccia. I *fiords* hanno in genere i caratteri di gole, strette, profonde, con sponde a picco o a pendio ripidissimo. Biforcandosi sovente a valle, generano isole o gruppi d'isole di forma subtriangolare. I *fiords* sono ordinariamente normali alle coste che incidono; ma in certi paesi, come per esempio le coste verso lo stretto di Magellano, sono piuttosto caratterizzate da *fiords*, e quindi da isole, allungati parallelamente alle coste.

Senza perderci in troppe dimostrazioni, che cosa ci vorrebbe perchè le grandi valli lombarde, ora occupate parzialmente dai laghi, diventassero altrettanti *fiords?* Non altro che questo: toglier di mezzo il terreno morenico e le alluvioni che stanno attualmente tra i laghi e i mari. Tra essi e i mari infatti non c'è altro, per quanto si conosce. È chiaro che, essendo il fondo dei nostri laghi, almeno dei più grandi, inferiore di molto al livello del mare, questo vi entrerebbe convertendoli in *fiords*. Ora siccome, prima che discendessero i ghiacciai, non esistevano nè morene, nè alluvioni in corrispondenza colle nostre grandi valli lacustri, e gli stessi ghiacciai discesero in mare; le nostre valli lacustri al principio dell'epoca glaciale erano *fiords*. Così compare difatti il sistema delle nostre grandi valli alpine, lacustri e non lacustri, formando un sistema di *fiords* nella *Carta geografica dell'alta Italia nell'epoca pliocenica* (Tav. I), in cui appunto nulla esisteva di quanto ora intercetta le nostre valli, cioè a loro impedisce di comunicare col mare. Nè altrimenti i ghiacciai trovarono il mare e le valli tra gli Apennini e le Alpi, quando discesero a tuffare la fronte in quel golfo che si distendeva libero allora tra le Alpi lombarde e il ligure Apennino, come al presente quanto n'è rimasto in uguali condizioni, cioè l'Adriatico tra i monti dell'Istria e della Dalmazia e i monti littorali dell'Anconitano.

Quando si dice che le nostre valli erano *fiords* prima della discesa dei ghiacciai, non s'intende che lo fossero tutte, nemmeno le lombarde, come certamente lo dovevano essere le grandi valli lacustri che si spofondano anche in oggi sotto il livello del mare. Io credo però che le valli da eccettuarsi sieno ben poche; che, cioè, la maggior parte delle valli alpine abbia dovuto passare per la fase di *fiord*, prima d'essere valle o lago. In questa credenza sono indotto dal pensiero che l'attuale profondità delle nostre valli o dei nostri laghi non può essere che un residuo della loro profondità originaria, al cui primitivo valore fu per ogni verso detratto.

Rifletto infatti anzitutto che dopo il cominciamento dell'epoca glaciale, e dopo che i ghiacciai occupavano da cima a fondo le nostre valli, ebbe luogo un forte sollevamento, che naturalmente alterò il rapporto tra il fondo degli antichi *fiords* e il livello del mare. Detto sollevamento potendo portarsi fin verso la cifra di 400 metri, ne consegue che le valli della Lombardia e del Piemonte devono considerarsi, per rapporto all'attuale livello del mare, come fossero 400 metri più

profonde. Il lago di Lugano, per es., e il lago d'Idro, i cui fondi si trovano, per l'uno a 63 metri, per l'altro a 257 metri sul livello del mare, si sprofonderebbero ambedue sotto lo stesso livello più centinaja di metri, quando non avesse avuto luogo il sollevamento di cui s'è parlato.

La diminuzione della profondità originaria delle valli e dei laghi subalpini risulta poi immediatamente dal vedere quanto enorme sia la quantità dei terreni detritici (alluvioni, morene, sabbie, fanghi, ecc.) che riempie quelle grandi depressioni, le quali originariamente furono scavate in seno alla dura roccia. Tutto quello sfasciume che ne ha ostrutta una parte così visibilmente considerevole, è tutta roba intrusa, avventizia; e prevenendo ciò che dobbiamo dire, e che del resto è cosa troppo evidente, il riempimento parziale di quelle grandi cavità subalpine si deve precisamente al terreno glaciale, chè gli antichi ghiacciai non potevano certamente occupare quelle depressioni, senza deporvi, specialmente nel regresso, una quantità enorme di materiale, che andò tutto a diminuzione della profondità originaria. A che si dovrebbe attribuire, per es., la poca profondità del lago di Lugano, se non a questo almeno per la massima parte che servì come di cloaca ai ghiacciai dei laghi Maggiore e di Como e che ora, salvo dove la roccia è nuda, è tutto fiancheggiato da morene, e vi è come ingolfato? sicchè dove mancano (ed è precisamente dove le sponde sono ripide e a picco) bisogna dire che sono ite giù sul fondo del lago. Non altro, per es., che una morena frontale, corrispondente al periodo di regresso del ghiacciajo che riempiva il ramo del lago di Lugano tra Lugano e Porlezza, in corrispondenza col ghiacciajo del lago di Como, deve ritenersi quel rilievo così spiccato che attraversa il ramo suddetto, formando dapprima una penisola, poi quel basso fondo lineare, su cui è piantato il ponte di Melide (fig. 65). Quel rilievo non ha altra ragione di essere in quel posto, non essendoci nè delta, nè torrenti che potessero formarne, ed essendo a picco in quel punto l'una e l'altra sponda del lago. Così il lago di Como, che, scandagliato per il lungo (fig. 67), mostra una serie di rilievi e di depressioni normali alla valle, ed in nessun rapporto con rilievi o depressioni corrispondenti che si potessero indicare sulle sponde, dove la costiera è rocciosa. Come rilievi morenici si spiegano invece da sè. La cosa è poi chiarissima all'estremità meridionale del lago di Lecco, dove le strozzature, i bassi fondi sono in rapporti così immediati colle morene laterali accumulate sulle sponde, e coi delta lacustri formati dai torrenti colla demolizione delle morene stesse. Si può stabilire, insomma, che la profondità dei laghi è sempre in rapporto molto diretto collo sviluppo del terreno glaciale, diminuendo nelle proporzioni che questo cresce, e viceversa. Quindi è evidente che i laghi e le valli alpine in genere sarebbero assai più profondi se non fossero stati parzialmente riempiti di terreno morenico, e più tardi di alluvioni, procedenti dallo stesso detrito morenico accumulato sui fianchi in morene laterali o insinuate.

Fig. 65. — Sezione longitudinale del lago di Lugano al ponte di Melide (1).

M. Ponte di Melide.

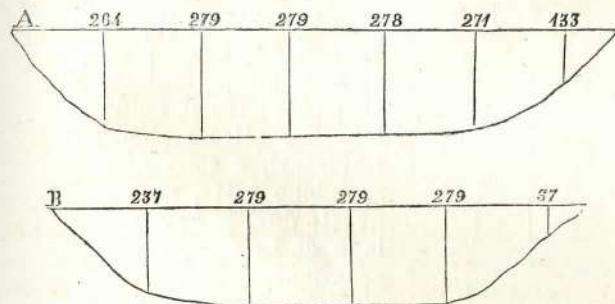



Fig. 66. — Sezioni trasversali del lago di Lugano (ramo di Porlezza) nei due punti di massima profondità (2).

A. Bellarma. — *B.* Oria.

(1) In questa e nelle tre figure seguenti le profondità sono espresse in metri.
(2) Queste due sezioni sono tratte dalla *Carta delle profondità del Ceresio* pubblicata dal Lavizzari.

A diminuire l'originaria profondità dei laghi poi, oltre l'immediato ingombro morenico ed alluvionale, dovette servire di molto la sedimentazione, la quale ebbe ed ha luogo sul fondo dei nostri laghi anche dove non si depongono alluvioni. A giudicare dalla forma che presenta invariabilmente il fondo dei nostri laghi precisamente nelle maggiori profondità, la sedimentazione semplice, quella che ha luogo per il deporsi della torbida in un bacino di acque stagnanti o quasi stagnanti, ha avuto uno sviluppo ben più grande di quello che si crederebbe. Qualunque sia la forma che voglia darsi alle nostre grandi valli lacustri o non lacustri, le quali non sono che altrettante *chiuse* ossia spaccature delle Alpi, nessuno immaginerebbe certamente che dovessero in origine terminare a fondo piatto. Eppure è precisamente questa la forma che si direbbe di rigore pel fondo dei nostri maggiori laghi. Le ondulazioni che si presentano sulle sezioni longitudinali, dovute all'incrociamento o di morene o di delta laterali, scompajono affatto nelle sezioni trasversali. La fig. 66 offre due sezioni trasversali del lago di Lugano nei due punti di massima profondità. Vedasi come è piatto il fondo di quel lago. Le altre sezioni date dal Lavizzari, e sono assai, corrispondono tutte, su per giù, a queste due, per cui il fondo del lago di Lugano, salvo qualche eccezione, è una pianura fiancheggiata da pareti a picco. Più maraviglioso è il fatto quando si verifica a profondità voraginose come sono quelle di 300 e più metri che presenta il lago di Como. Pure vedonsi le sezioni dei due rami del suddetto lago (fig. 68) quali risultano, dove si verificano appunto le maggiori profondità, da esattissimi scandagli eseguiti dal sig. Dürrer. Qui i due laghi hanno la forma, direbbesi, di due vasi a fondo piatto, con

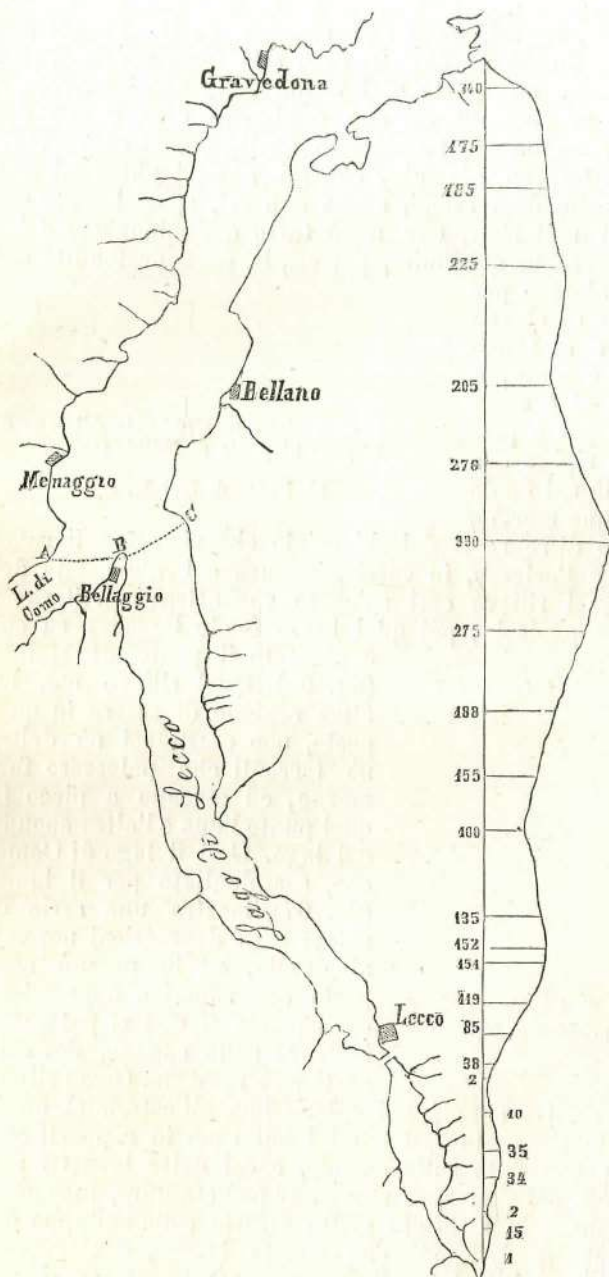



Fig. 67. — Sezione longitudinale del lago di Como pel ramo di Lecco (1).

(1) Gli scandagli furono eseguiti, pel tronco inferiore tra Mandello e Olginate, dal sig. Ferdinando Stoppani; pel tronco superiore fino a Gravedona dal sig. Gentilli.

pareti quasi verticali. E lo sarebbe veramente, se le alluvioni torrenziali, le frane, ecc., non avessero creato un lido a piano più o meno inclinato verso il lago. Alla profondità di 140 a 300 metri, come abbiam qui, l'onda del lago non può farsi certamente sentire. Se il fondo è piatto, bisogna attribuirlo alla sedimentazione immediata di materie tenute in sospensione. È noto, del resto, come il lago

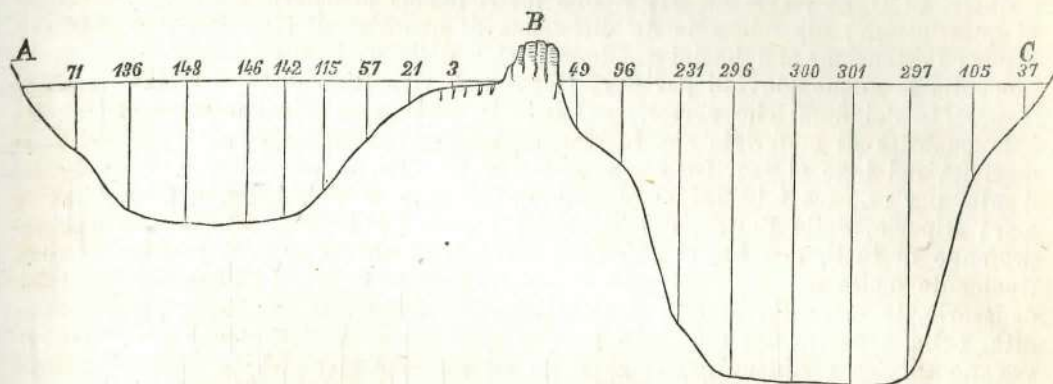



Fig. 68. — Sezione trasversale dei due rami del lago di Como tra Cadenabbia e Fiume-Latte (1).

A. Cadenabbia. — *B.* Villa Serbelloni. — *C.* Fiume-Latte.

di Como si intorbidisca tutto in seguito alle pioggе prolungate o diluviali, ed è quel fango tenuto in sospensione che, deponendosi poi lentamente, deve aver uguagliate le irregolarità del fondo e creata quella pianura sotto-lacustre. Infatti gli scandagli eseguiti dai signori Casella e Bernasconi (2) nel tronco del lago di Como presso Laglio non trassero da una profondità di 150 metri altro che fango impalpabile, straricco di organismi, che io ritengo in genere appartenenti alla grande famiglia delle diatomee. Quel processo di sedimentazione, che dura da tanti secoli, come ha fatto scomparire le disuguaglianze del fondo, così deve avere diminuita assai la profondità originaria del lago. Io credo molto probabile, per esempio, che la maggiore profondità del lago di Garda, che supera quella del lago di Como di circa 300 metri, sia da attribuirsi in gran parte alla eccezionale limpidezza delle sue acque, che si mantiene costante, stante la piccolezza degli influenti in confronto alla capacità di quell' enorme bacino.

Tutto questo viene a dire, in conclusione, che quei laghi il cui fondo discende ancora sotto il livello del mare erano assai più profondi quand'erano *fiords*, e che i laghi e le stesse valli il cui fondo supera attualmente il livello del mare anche di cinque o sei centinaja di metri, molto probabilmente anch' essi erano *fiords*, quando i ghiacciai si preparavano ad invadere il mare che bagnava il piede delle Alpi.

Ritenuta questa idea ed anche dandole l'applicazione più estesa, non pretenderò mai, nemmeno io stesso, di stabilire che tutti i *fiords* alpini di quell'epoca discendessero ad uguali profondità sotto il livello del mare, e nemmeno che tutte, senza eccezione, le grandi valli alpine o prealpine fossero depresse quanto era necessario per essere *fiords*. Anche attualmente i *fiords* di Groenlandia, di Norvegia, di tutti i paesi che ne hanno, presentano, quanto alla rispettiva profondità, delle enormi differenze tra loro.

Lo stesso dicasi dei laghi-fiords, intercettati soltanto, come abbiamo detto, da una barriera morenica. Abbiamo veduto infatti come pei laghi di Norvegia

(1) La scala delle distanze orizzontali è il quarto di quella delle profondità. Le sezioni A. B. e B. C. corrispondono alle linee punteggiate A. B. e B. C. della fig. 67. Gli scandagli furono eseguiti dal sig. Dürrer.

(2) Stoppani, *Corso di geologia*, vol. II, § 87.

la profondità sotto il livello del mare dia 14 a 432 metri. Tali differenze, per quanto vogliansi far dipendere, vuoi pei laghi di Norvegia, vuoi per quelli della Lombardia, dalla diversa quantità del successivo riempimento, devono essere sempre più o meno in rapporto colla profondità originaria di ciascuno. Chi vorrebbe ammettere, per es., che la differenza di profondità tra il lago di Lugano e quello di Garda, cioè da 279 a 825 metri (senza calcolare l'enorme ampiezza di quest'ultimo) dipenda solo da differenza di quantità di riempimento? Diversa è pure l'estensione dei bacini confluenti, cioè della regione montagnosa, la quale raccoglie le acque pluviali per immetterle nel rispettivo lago. Diversa è quindi la portata dei fiumi che versano nel lago le torbide, e diversa necessariamente è la quantità di materiale che in ciascun luogo viene deposta a diminuzione della capacità del lago stesso. Lo stesso dicasi delle valli non lacustri. C'è egli confronto, per es., tra i bacini confluenti del Ticino e dell'Adda, con quelli della Dora Riparia, della Baltea, del Tagliamento, ecc.? Il lago di Garda, che è il più profondo di tutti, non ha, si può dire, altro confluente che la Sarca, fiume relativamente molto modesto, che esce poi sotto il nome di Mincio, conservando, come emissario, la modestia nativa. Ammesse queste differenze originarie nella profondità, nella capacità dei recipienti e nella quantità di materiali che servono o dovevano servire a diminuirne la capacità ed anche a riempirli interamente; e ammesso che tra la formazione delle gole alpine e dei *fiords* e la discesa dei ghiacciai ci sia stato un certo lasso di tempo (mentre tutti i fiumi dalla Riparia al Tagliamento dovettero cominciare a deporre a monte di ciascun *fiord* un delta), non c'è maraviglia che alcuni di essi, per es., quelli della Riparia e della Baltea siano stati riempiti d'alluvioni per una parte, o anche totalmente, fino a poter spingere un delta nel mare aperto, come sembrano aver fatto la Dora Riparia e la Chiusella, prima che ne discendessero i ghiacciai. Intanto altri *fiords*, più vasti e profondi d'assai, come quelli del Ticino, dell'Adda, del lago di Garda, potevano rimanere ancora vuoti d'alluvione per la massima parte e conservarsi ancora allo stato di *fiords* fino all'epoca in cui discesero i ghiacciai (1). Che ne avvenne allora?

Nei *fiords* già riempiti e ridotti a valle, il ghiacciajo non fece che venir giù scorrendo sul letto della valle stessa, finchè trovò il mare, e depose le sue morene o sulla spiaggia asciutta già formata, come pare abbia fatto il ghiacciajo della Dora Riparia, o in seno al mare stesso, come fece indubbiamente la Dora Baltea. Quanto agli altri che rimanevano ancora aperti nelle condizioni di *fiords*, i ghiacciai alpini fecero quello che fanno ora i ghiacciai della Groenlandia. Trovato il mare all'estremità del *fiord* a monte, ne lo respinsero, vi si cacciarono in sua vece; riempiendo il *fiord* da cima a fondo, riuscirono al suo sbocco nell'aperto mare, invasero anche questo fin dove fu permesso dalla rispettiva potenza, e dove dovettero arrestarsi, là gettarono le fondamenta dei rispettivi anfiteatri. Gli anfiteatri crebbero, emersero dal mare, e già fin da quando gli stessi ghiacciai li deposero, formavano barriera tra i ghiacciai stessi e il mare, come le

(1) Studiando le ragioni per cui in Lombardia, a preferenza che nel Piemonte e nella Venezia, i *fiords* acquistarono originariamente quella vastità e profondità maggiori, a cui devono certamente l'essere rimasti liberi fino al giorno in cui discesero i ghiacciai ad occuparli e conseguentemente a proteggerne la conservazione; esse si troveranno, credo, facilmente nel fatto che nella parte della catena alpina che risponde alla Lombardia, cioè tra il Ticino e l'Adige, tutto accusa un'azione più condensata, forse più ripetuta e insistente nelle forze che produssero il rilievo alpino. Noi vediamo infatti le Alpi scomporsi in diversi sistemi; staccarsi da esse le Prealpi, e queste suddividersi in diverse catene: la catena calcarea, la dolomitica e quella ancor più potente dei terreni cristalloidi, emula, per l'altezza e lo sviluppo, delle vere Alpi. È naturale che, nella produzione dei diversi rilievi col ripetersi dei sollevamenti, le crepature, ossia le gole alpine, guadagnassero di profondità, di estensione, complicandosi, ramificandosi, formando insomma quel complesso di caratteri e quella grandiosità e complicazione che le valli del Piemonte sono ben lontane dal mostrare. Quanto alle valli della Venezia, esse andrebbero considerate sotto un punto di vista affatto speciale, pel fatto che la regione veneta, almeno per molta parte verso oriente, era più elevata nell'epoca pliocenica che nol sia adesso, come lo attestano le spiaggie plioceniche ora sommerse per effetto di un abbassamento, che sono indicate nella *Tavola I.* Terremo conto più tardi di questo fenomeno.

morene che veggonsi attualmente o in via di formazione o già emerse o già salde tra il mare e i ghiacciai di Groenlandia. Ritirandosi i ghiacciai, rimase il *fiord* che ne era internamente occupato; rimase, insomma, il letto che il ghiacciajo occupava, e rimasero al tempo stesso le barriere moreniche edificate a valle. Quei grandi vuoti lasciati dai ghiacciai, intercettati da ogni comunicazione col mare per mezzo delle barriere moreniche, divennero serbatoi di acque dolci; si convertirono in laghi.

Prego il lettore a ritornare colla mente su quanto abbiam detto sui rapporti che esistono tra i laghi subalpini e i rispettivi anfiteatri morenici, o piuttosto sul fatto dell'intimità di questi rapporti (1); poi mi dica se la spiegazione da me proposta non è la più semplice, la più naturale, la più conforme ai fatti. Questi fatti parlanti sono: che tutti i laghi subalpini terminano a valle coll'anfiteatro morenico edificato dal rispettivo antico ghiacciajo; che il lago stesso è compreso talora per la massima parte nell'anfiteatro; che tra il lago e il mare non c'è che terreno detritico, che è o glaciale, o marino glaciale, o alluvio-glaciale, comprendendo sotto quest'ultima denominazione anche le alluvioni più moderne che vanno anche in oggi ingrossandosi a spese delle antiche morene.

Bisogna però confessare che quest'ultimo punto risguardante la natura, dirò, del diaframma che sta tra i nostri laghi e il mare, non può stabilirsi in un senso così assoluto, come è detto nel precedente periodo. Se stiamo alla parte visibile del terreno che separa i laghi dal mare, si può dire quasi in via assoluta che non vi hanno che formazioni glaciali, contemporanee o posteriori ad esse. Ma sotto ai terreni più superficiali, in corrispondenza colle maggiori profondità dei nostri laghi, quali terreni ci possono essere?... Ed anche nel tratto più superficiale, anzi superiormente al livello del lago di Como, non abbiamo sancita l'esistenza per lo meno delle argille azzurre marine, plioceniche che precedettero l'epoca glaciale? Si ricordi infatti come le argille marine, entro le quali si fonda l'anfiteatro morenico di Como e quello di Balerna nelle stesse condizioni, si elevano almeno 60 o 70 metri sul livello del Lario (2). Se i terreni che servono di base al pretto glaciale o marino glaciale non si mostrano all'estremità meridionale degli altri laghi, ciò non vuol dire che non ci siano. Anzi, ciò che si osserva a Como, ad Ivrea e dappertutto dove si mostran le argille plioceniche non coperte dal terreno glaciale, non ci permette di dubitare che dovunque, allo sbocco delle valli alpine lacustri o non lacustri, il che vuol dire allo sbocco degli antichi *fiords*, deve esistere, sotto al terreno glaciale o marino glaciale, il terreno pliocenico sotto forma di argille, di conglomerati, ed altro, portato a tale livello che i laghi appena profondi devono trovare certamente. A comporre la barriera che separa i laghi subalpini dal mare concorrono dunque altri terreni oltre il glaciale, nè può quindi attribuirsi all'avvenimento degli antichi ghiacciai la conversione degli antichi *fiords* in laghi.

Questa conseguenza non è legittima, come non sarebbe esatto il dire che i ghiacciai hanno senz'altro fabbricata la barriera tra i laghi e i mari. Si dirà invece molto bene, tenendo conto di molti fatti, che la barriera, principiata dalle argille col rialzamento del fondo marino allo sbocco dei *fiords*, fu continuata e compita avanti il sollevamento della regione alpina, dai ghiacciai, prima coi depositi marini glaciali morenici e premorenici, poi colle morene terrestri, in cui si convertirono le sottomarine, mano mano che si elevarono sopra il livello dell'antico mare.

Lungi dall'escludere la teorica dello sbarramento glaciale pel fatto che il fondo marino formava già un rilievo allo sbocco dei *fiords* marini, io credo che questo rilievo del fondo marino fosse condizione necessaria perchè succedesse lo sbarramento; mentre se il mare all'imboccatura dei *fiords* avesse avuto quella profondità enorme (di migliaia di metri certamente) che avevano gli stessi *fiords* nel-

(1) Vedi sopra a pag. 207, fig. 59.
(2) Vedi sopra Cap. VIII, §. 7 e 8 e specialmente le fig. 47, 49 e 51.

l'interno, le morene non sarebbero bastate a colmare quel fondo, rimanendone ancor tanto per fabbricare quell'enorme rilievo sopramarino rappresentato dagli anfiteatri morenici.

Ma come mai il mare davanti ai *fiords* doveva essere tanto meno profondo che nel loro interno? Potrebbe il lettore accontentarsi di ciò che si osserva riguardo ai *fiords* attuali. In Norvegia, in Groenlandia, alla Nuova Zelanda, e credo in tutte le regioni a *fiords* senza eccezione, i *fiords* stessi sono molto più profondi del libero mare a cui mettono capo. È opinione dei geologi norvegi che il gran rialzo che, a foggia di piattaforma marina, si distende tra le isole britanniche e quella zona di profondità littorale ove sboccano i *fiords* della Norvegia, rappresenti la gran massa morenica deposta dagli antichi ghiacciai che giungendo al mare tanto dalle isole britanniche come dalla Norvegia per la via dei *fiords*, si spinsero in mare, fondendosi insieme in una ghiaccia che allontanossi centinaja di chilometri dal lido. È molto probabile che le due ghiaccie, quella delle isole britanniche e quella della Norvegia, incontrandosi in mare, abbiano formato una ghiaccia sola, come fanno i ghiacciai polari entro i canali e sopra una parte considerevole dello stesso Oceano. Il detrito morenico, accumulato in quel lunghissimo periodo glaciale sul fondo del mare tra la Norvegia e le isole britanniche, ne avrebbe rilevato il fondo, edificando quasi una grande barriera sottomarina, come i singoli ghiacciai nel loro regresso ne hanno edificato di parziali nell'interno dei rispettivi *fiords*. In questo caso l'altipiano sottomarino tra l'Inghilterra e la Norvegia risponderebbe assai bene a ciò che rappresentano a scala molto più piccola la Groana e tutto il sistema degli altipiani premorenici lombardi di cui si è spiegata l'origine (1). Quegli altipiani d'origine marino-glaciale erano su per giù nelle condizioni della piattaforma anglo-norvegica, prima del sollevamento che li ha fatti emergere, e lo sarebbero certamente ancora, se il golfo Adriatico fosse stato così profondo come il mare del Nord. Secondo le mie idee, il profilo (fig. 69) potrebbe rappresentare schematicamente tanto i rapporti che si verificano tra le

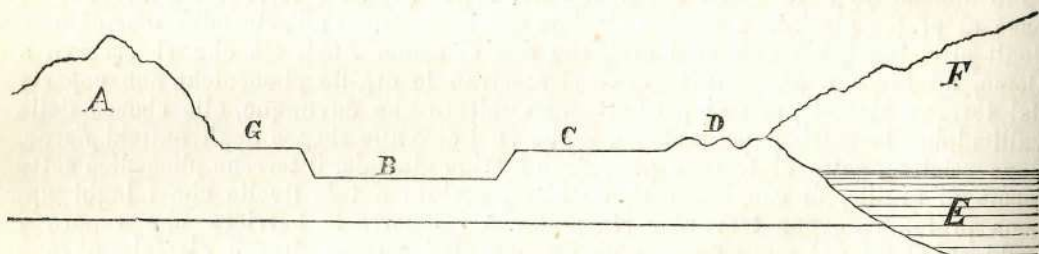



Fig. 69. — Schema della costituzione geologica della valle del Po.

isole britanniche, il mare del Nord e la Norvegia co' suoi *fiords* e co' suoi laghi di sbarramento, quanto quelli che esistono tra gli Apennini, la valle del Po e le Alpi coi loro anfiteatri morenici e coi loro laghi di sbarramento. Nel primo caso il rilievo A rappresenterebbe le isole britanniche, e nel secondo gli Apennini: F sarebbe la Scandinavia nell'uno, le Alpi nell'altro caso: la depressione tra A e F significherebbe tanto il mare del Nord come la valle del Po che era un golfo dell'epoca glaciale: l'altipiano C sarebbe tanto la piattaforma sottomarina anglo-norvegica quanto il sistema degli altipiani premorenici ugualmente sottomarini dell'epoca glaciale, quando formavano, in unione alle sabbie gialle ed ai conglomerati subapenninici G, un vero altipiano sottomarino, in cui venne poi scavata, dopo il sollevamento di tutto il sistema, la depressione B, ossia la valle del Po: i rilievi morenici D sono al loro posto tanto per la Norvegia come per le Alpi: in E finalmente ci sta tanto il lago di Como quanto un qualunque lago o *fiord* della Norvegia. Infine, se non c'è una perfetta corrispondenza tra i fe-

(1) Vedi sopra Cap. VIII, § 8, pag. 177.

nomeni che presenta l'alta Italia e quelli della porzione d'Europa del nord ora considerata, dipende non già dal sollevamento contemporaneo o posteriore all'epoca glaciale, che si nota tanto da noi come in tutta l'Europa del nord, ma semplicemente dalle condizioni diverse in cui trovavasi in quell'epoca il golfo Adriatico tra le Alpi e l'Apennino, in confronto del mare tra le isole britanniche e la Norvegia. Il mare del Nord era ed è ancora un mare vasto, libero, profondo; insomma un vero mare. Il golfo Adriatico, ora valle del Po, era un semplice golfo stretto, piuttosto laguna che mare. E in questa laguna confluivano tutti i torrenti delle Alpi e degli Apennini. Anche allora, cioè nell'epoca pliocenica come adesso, l'Adriatico riceveva tutto il detrito portatogli da mille torrenti. Dal recargli tributo non erano dispensati altro che i *fiords*, come lo sono anche attualmente, convertiti in laghi, mentre dove c'è lago i torrenti alpini non sono capaci di portare al mare nemmeno un granello di sabbia. Dunque fin d'allora il nostro golfo adempiva a tutte le condizioni di un rapido riempimento. Il suo fondo doveva elevarsi a vista d'occhio, e il delta del Po (intendo sotto questo nome tutte le dejezioni dei fiumi delle Alpi e degli Apennini che servirono a formare la gran pianura eridana) formarsi, avanzarsi verso oriente, allontanarsi dal Piemonte, come ora da Venezia. Ecco come il fondo del mare fin dal principio dell'epoca pliocenica, ed anche se vuolsi più presto, doveva elevarsi assai rapidamente, formando già per sè barriera sottomarina all'imboccatura dei *fiords* lombardi, mentre questi non avevano ragione di colmarsi, prescindendo dagli scarsi torrenti che anche in oggi vediamo con esito così lento intenti all'opera di colmare quel resto degli antichi *fiords* che rimase sotto forma di lago. Parlo dei torrenti laterali alla regione più bassa dove i *fiords* confinavano col mare; mentre l'alluvione principale che vediamo anche in oggi avanzarsi con certa rapidità all'estremità settentrionale dei nostri laghi, si deponeva in ogni caso alla stessa estremità anche allora, rimanendo tra il delta lacustre che si veniva formando e il libero mare, tutto il *fiord*, cioè non solo lo spazio del lago attuale che gli corrisponde, ma anche tutto quello che venne in seguito occupato dai depositi morenici e dalle alluvioni antiche e moderne.

In queste condizioni è facile intendere come, discendendo, i ghiacciai occuparono interamente i *fiords*, arrestandone il riempimento alluvionale; spinsero le loro fronti fino allo sbocco nel libero mare, o piuttosto nel golfo Adriatico, dove trovarono già il fondo molto rilevato e, coi detriti morenici uniti agli altri che al golfo venivano tributati, servirono a far avanzare molto rapidamente l'opera della colmata. Sulla fronte dei ghiacciai quest'opera si avanzò rapidissimamente; dalle argille e dalle sabbie con detriti e fossili marini alla base degli anfiteatri, si eressero gli anfiteatri stessi, che, prima flagellati dalle onde, si sottrassero alla loro azione levandosi sempre più in alto e serbando intero il carattere di morena terrestre. Quello che avvenne poi, facilmente si capisce. Da una parte si ritirarono i ghiacciai, e l'antico *fiord* o quanto di esso rimaneva, rimasto intercettato dal lato di mare, convertissi in lago, dove vediamo continuarsi il processo di riempimento mediante le alluvioni terrestri. Al di là della barriera, invece, ossia verso il mare, il processo di riempimento del golfo Adriatico continuò, come prima dell'epoca glaciale, per mezzo dei torrenti dell'Apennino e delle Alpi, a cui si accrebbe non di poco la rapina per le enormi masse di terreno morenico, che, portate giù tra le montagne e il mare, venivano lasciate in loro balìa. Qui ci vorrebbe un intiero volume per riportare quanto potrebbe già dirsi circa il processo di riempimento dell'antico golfo Adriatico dall'epoca pliocenica fino ai nostri giorni, e ci vorrà ancora un secolo (se basterà) perchè la scienza possa dirci qualche cosa di ben definito su questo processo, per cui ciò che era ancora golfo di mare durante l'epoca glaciale, divenne quella pianura sulla quale sorgono ora tante città e che fu già teatro essa stessa di variazioni geologiche importantissime.

Lo studio della collina di S. Colombano può già dare molta luce in argomento, e sono molto meritevoli di studio le osservazioni che andò pubblicando in questi ultimi tempi il prof. Taramelli, principalmente nella sua Memoria sul *Fer-*

retto della Brianza (1). Prescindendo dalla interpretazione diversa, e per me assolutamente falsa che egli dà, per una parte che direbbesi indifferente, alla serie dei terreni più recenti che stanno tra le Alpi e l'Apennino, io godo di segnalare la carta geologica, annessa a quella Memoria, come un' espressione felicissima e molto avanzata dei fenomeni che si succedettero in seno a quella interessantissima depressione dal miocene in poi (2). Chi ha l' occhio esercitato in questo genere d'interpretazioni ci vede benissimo il deporsi delle argille azzurre entro il golfo a cui servono di sponda, tanto dal lato delle Alpi come da quello degli Apennini, i rilievi miocenici. Più tardi dalla parte dell'Alpi, per la via dei *fiords*, si avanzano in mare i ghiacciai, ergendo da quella parte gli anfiteatri che si continuano verso mare cogli altipiani sottomarini (Groana, ecc.) composti di elementi glaciali distinti ed elaborati dal mare. Dalla parte degli Appennini invece si depongono le *sabbie gialle,* che vennero finora considerate come pliocene superiore, e sono invece (lo afferma anche il Taramelli) *glaciali.* Seguono le alluvioni che si avanzano distinte tanto dalle Alpi che dagli Apennini, finchè, sparita a poco a poco la barriera del golfo eridano, e questo diventato pianura, si toccano, si sovrappongono o si confondono, secondo le diverse evoluzioni a cui sono soggetti da una parte la regione in via di progressivo sollevamento, dall'altra un gran fiume che va formandosi colla riunione di cento sulla nascente mobile pianura.

Intanto, come diceva, la collina di S. Colombano sparge molta luce in proposito. Alla base abbiamo un banco di corallo che probabilmente, secondo il Taramelli, si fonda su qualche scoglio miocenico simile ad altri che si vedono di fatti nelle vicinanze sotto le argille. Le argille azzurre plioceniche però si formano e crescendo d'altezza sul fondo del golfo a poco a poco investono il banco corallino. Alle argille, avanzandosi sempre il lido maggiormente, subentrano le sabbie. Quello che forma tanto le argille quanto le sabbie gialle è, secondo Taramelli, materiale apennino. Così le ghiaje, i ciottoli, i conglomerati associati alle sabbie gialle, indizî dell'avanzarsi sempre più verso il mezzo del golfo delle alluvioni apennine. Il Po in formazione scorre ancor al di là della collina di S. Colombano presso le Alpi della Lombardia e del Piemonte. — D' un tratto, nelle colline di S. Colombano alle alluvioni apennine si sovrappongono le alpine. Il Po si è portato al di qua della collina stessa, e quanto gli resta sulla sinistra è, come oggi, soggetto al dominio delle alpine correnti.

Queste idee circa la formazione della gran valle del Po dell'epoca del pliocene, da me coltivate ed espresse dalla cattedra da lungo tempo, e suggeritemi dallo studio del terreno glaciale al piede delle Alpi, sono affatto conformi a quelle espresse dall' abate Ferretti come risultato de' suoi studi sui terreni marini o littorali più recenti che costituiscono i primi rilievi alla base degli Apennini verso la pianura eridana. L'egregio autore, nella sua Memoria che s'intitola *Periodo glaciale subapenninico* (3), ammettendo con me che all'epoca glaciale appartengano i terreni intesi generalmente sotto il nome di sabbie gialle, riferite al pliocene superiore, dimostra come essi, formati come sono d'argille, marne, conglomerati, banchi di tritume di conchiglie, sabbie, ghiaje, ecc., rappresentano un grande apparato littorale; il che vorrebbe dire il riempimento dell' antico golfo Adriatico durante l'epoca glaciale, per mezzo dei materiali di cui gli erano tributarî i torrenti delle Alpi e degli Apennini (certo più degli Apennini che delle Alpi). Con ciò s'intende benissimo come il fondo del golfo Adriatico fosse molto

(1) Taramelli, *Alcune osservazioni sul Ferretto della Brianza* (*Atti della Società Italiana di scienze naturali*, 1876). — *Osservazioni stratigrafiche sulla provincia di Pavia* (*Rendic. del R. Istituto Lombardo*, 1877).

(2) La divergenza tra me e il Taramelli si riduce a questo, che egli considera come formazione glaciale sottomarina, o come morene caolinizzate in mare il *ferretto* costituente gli altipiani premorenici, riferendoli però ad un periodo glaciale più antico di quello a cui appartengono gli anfiteatri. Io invece riferisco gli anfiteatri e gli altipiani premorenici (Groana, ecc.) allo stesso periodo glaciale, considerando gli altipiani premorenici come bassi fondi, che continuano verso mare i rilievi morenici. La carta del Taramelli, senza che lo voglia l'autore, è lì tutta per darmi ragione.

(3) *Atti della Società Veneto-Trentina*, 1875.

rilevato in confronto di quello dei *fiords* che vi sboccano alla base delle Alpi lombarde. Ammette pure il Ferretti che già in quell'epoca il gran delta del Po si avanzava (naturalmente, da ovest ad est) rialzando il fondo del golfo molto prima di giungervi come terra asciutta: altra ragione per cui il fondo del mare tendeva ad alzarsi, formando un rilievo normale ai *fiords* di Lombardia. Anzi ritiene il Ferretti che il golfo, ora pianura eridana, fosse già fin d'allora o divenisse una regione di bassi fondi e di lagune. Ed io inclino a crederlo almeno entro certi termini, non essendo persuaso in genere che i nostri ghiacciai, così enormi com'erano, abbiano trovato profondità sufficienti per galleggiare, incontrando invece allo sbocco dei *fiords* dei fondi così bassi, che dovettero poggiare su di essi formando piuttosto delle spiaggie glaciali, battute dal mare o dalle lagune come le venete. È però certo che i ghiacciai, principalmente in quel periodo di massimo avanzamento di cui ci riserviamo di parlare più tardi, hanno contribuito moltissimo a dare al golfo Adriatico quell'avviamento che dice il sig. Ferretti. E quando dico che le alluvioni, i delta, la sedimentazione in genere dell'Adriatico contribuirono potentemente allo sbarramento dei *fiords* lombardi, non dimentico la torbida immessa dai ghiacciai in mare, il detrito glaciale che in quantità enorme era tributato dal ghiacciajo allo stesso mare, incaricato di triturarlo, di elaborarlo, di distribuirlo in masse stratificate; insomma i ghiacciai come quelli che dalla parte delle Alpi rappresentarono la prima parte nella grand' opera del riempimento del golfo (1). Per cui, infine, insisto nella mia proposizione, che ai ghiacciai si deve la conversione degli antichi *fiords* in laghi.

Il fatto della formazione di laghi per sbarramento di una valle operato dalle morene frontali non esce dalla linea dei fatti più naturali, ed oso dire comuni. Io credo che, studiando i laghi delle antiche regioni glaciali, se ne troverà a centinaja di quelli che occupano le gole percorse dagli antichi ghiacciai, le quali divennero laghi appunto perchè il rispettivo ghiacciaio, dopo aver edificato a valle il suo anfiteatro, ritirossi lasciando il suo gran letto, che riempissi d'acqua dolce. È indifferente che la depressione fosse piuttosto una gola alpina che un *fiords*, dipendendo l'essere l'una piuttosto che l'altro dal livello del fondo della depressione in rapporto col livello del mare. Intanto, per citare alcuni di questi laghi alpini che si presentano nelle precise condizioni dei laghi lombardi, non essendo che gole sbarrate a valle da morene frontali, nomino dapprima il lago di Poschiavo (fig. 59 *b*), il quale ho verificato precisamente in quest' anno (1877) trovarsi nelle condizioni suddette come era già indicato dalla *carta del terreno erratico* di Ziegler (2). Alla estremità meridionale del lago di Poschiavo una morena enorme attraversa la valle, riunendo le due sponde rocciose quasi a picco. Questa morena è la fronte di un anfiteatro che contiene, per così dire, il lago in sè stesso, e che si vede benissimo. delineato nella carta suddetta, disegnata allo scopo di rischiarare la disposizione del terreno erratico dell'Engadina e dintorni nell'ultimo periodo del regresso degli antichi ghiacciai. L'anfiteatro è naturalmente inciso dall' emissario. Il lago sarebbe ben più vasto se i torrenti che discendono dalla Bernina non gli avessero creato a monte quel gran delta torrenziale che è il piano di Poschiavo, sostituitosi a gran parte del lago, e che lo andrà in seguito naturalmente soppiantando. Ricorderò anche il piccol lago di Ledro descritto a pag. 101, il quale non è altro che un pezzo della valle d'Ampola, sbarrato da una morena frontale, e residuo di un lago assai più vasto ora per la massima parte colmato.

Ma l'esempio più magnifico di questo genere di laghi è quello di Zurigo. Basta osservare la magnifica Carta geologica pubblicatane da Escher per persuadersi di quanto asserisco (3). Il lago (fig. 59 *a*) termina a nord in grembo ad uno

(1) Si ricordi quanto fu detto nella nota 2 a pag. 194 sulla massa enorme di fango che devono tributare al mare i ghiacciai littorali o marini provenienti da terra. Altro che quello che portano i torrenti! Il ghiacciajo é una lima troppo potente, come s' è detto.

(2) J. M. Ziegler, *Karte des Ober-Engadin, etc. behufs Uebersicht der Ausdehnung dortiger Erratischen Spuren.*

(3) *Die Wasserverhältnisse der Stadt Zürich*, Zürich, 1871.

stupendo anfiteatro che lo abbraccia ed include, come fa del suo l'anfiteatro del lago di Garda. Alle schiette morene formanti un semicerchio ogivale quasi intatto, si associano per compirlo i depositi alluvionali o glaciali rimestati. L'anfiteatro è inciso dall'emissario. Se si domandasse ora quale differenza corra tra il lago di Zurigo e i nostri laghi lombardi per ciò che ne ha determinata la formazione, bisognerebbe rispondere: differenza ordinaria di livello, e le conseguenze di tale differenza. Il lago di Zurigo non era altro, secondo ogni probabilità, che una valle dell'epoca glaciale: i nostri laghi erano *fiords*.

Nelle condizioni dei laghi di Poschiavo, di Zurigo, ecc., si trovano tutti o quasi tutti i numerosi laghi della Baviera, compresi nella regione percorsa dagli antichi ghiacciai dell'Isar, dell'Inn e dei loro confluenti. Nel mio viaggio (1867) aveva notato il lago detto Königsee presso Bertesgaden, a sud di Salzburg, come stupendo modello in piccolo dei nostri laghi lombardi. Quel lago occupa infatti il fondo di una chiusa, di una gola cupa, profonda, a pareti a picco, una vera spaccatura alpina, sbarrata immediatamente a valle, cioè verso nord, da una morena stupenda. Il sig. F. Stark, nella sua Memoria *Sui laghi e sulle antiche morene della Baviera* (1), scritta ad illustrazione della sua magnifica *Carta della Baviera dell'epoca glaciale* (2), prescindendo dalla teorica da lui adottata, che è infine quella di Ramsay, mostra molto chiaramente che quei laghi sono tutti o quasi tutti nelle stesse condizioni del Königsee. Anzi dai profili annessi alla Memoria suddetta risulta che due dei maggiori laghi, il Stambergersee e l'Ammersee, terminano a valle, sbarrati da una morena frontale, o *Endmoräne*, com'egli la chiama (3).

Ma per intendere meglio il come i nostri antichi *fiords* abbia potuto anzi dovuto trasformarsi in laghi, posto che fossero ancora liberi, al sopravvenire dell'epoca glaciale, gioverà più che altro il confronto tra la Lombardia e la Norvegia, paese ugualmente lacustre, con laghi profondi, stretti, simili ai nostri, ma che ha il vantaggio di associare ai laghi i veri *fiords* ancora liberi oggigiorno; segno certo che non per tutti i *fiords*, anche nelle regioni invase dagli antichi ghiacciai, potè, per una ragione qualunque, formarsi la barriera. Ma sta a vedere appunto qual è questa ragione per cui, mentre i laghi della Norvegia sono nelle stesse condizioni geologiche dei nostri, sono antichi *fiords* sbarrati da terreno glaciale, o marino-glaciale, foggiato in morene, altipiani e terrazzi morenici, o marino-morenici come i nostri (4), non tutti furono, parzialmente almeno, col-

(1) *Die Bayerischen Seen und die alten Moränen* (1873).

(2) *Ideale Uebersicht von Sudost Bayern zur Eiszeit.*

(3) Il sig. Zittel, nella sua Memoria *Ueber Gletscher- Escheinungen in der bayerischen Hochebene*, in cui annuncia come una grande novità le traccie degli antichi ghiacciai in Baviera, ci assicura che lui e il sig. Stark sono i primi a parlarne, mentre fin allora non era stata fatta in proposito, tanto nel Tirolo settentrionale quanto nelle Alpi bavaresi, nessuna osservazione diretta. La stessa cosa è riportata dal sig. Desor nel suo *Paysage marainique* (1875), dove attribuisce allo Zittel la scoperta del terreno glaciale in Baviera. Tutto ciò è molto inesatto. Fin dal 1867 io ho osservato ed ammirato le traccie del grande sviluppo degli antichi ghiacciai nel Tirolo e nella Baviera, raccoltine diversi particolari, e parlatone assai ai signori geologi tedeschi, per sentirmi rispondere ch'essi avevano ben altro da fare che di pensare agli antichi ghiacciai. Nel II volume del mio *Corso di geologia*, pubblicato tra la fine del 1871 ed il principio del 1873, ho fatto cenno di quelle mie osservazioni con parsimonia, ma in modo abbastanza chiaro per richiamarvi l'attenzione dei geologi. Non è mia colpa se, al solito, gli stranieri non badano a quanto si scrive da noi. Ecco che cosa vi diceva a pag. 634 del suddetto II volume: « Io ho potuto ammirare gl'immensi apparati glaciali sul versante settentrionale del Brenner, lungo l'Inn, nei dintorni di Salzburg, ove si ammira il lago di Bertesgaden, » determinato, come i nostri grandi laghi, dallo sbarramento di una chiusa alpina, mediante una » morena frontale, e principalmente lungo il Danubio da Linz a Vienna, dove il passaggio di un im» menso ghiacciajo è specialmente rivelato da quei colli arrotondati di granito che lo fiancheggiano » per lunga tratta ». — Aggiungeva poi in una lunga nota a pag. 637 le mie osservazioni fatte in quello stesso anno 1867 sul suolo di Berlino, di cui credo di essere stato il primo, in compagnia del compianto dott. Kunt, a notare il carattere e l'origine prettamente glaciali.

(4) Riguardo alle condizioni dei laghi di Norvegia come laghi di sbarramento glaciale non c'è più nulla da aggiungere a quanto se n'è detto nel Cap. VIII (pag. 181-183) in base alle osservazioni del sig. Helland. Ricordisi senz'altro che vi sono in Norvegia almeno 51 laghi, scavati fino al fondo nella viva roccia, sprofondantisi tutti sotto il livello del mare, da cui sono intercettati soltanto per effetto di una barriera di terreno mobile, glaciale o marino-glaciale, in morene e altipiani come da noi.

mati e sbarrati. Aggiungo un'altra domanda perchè m'avvedo che la risposta sarà per tutte la stessa: — Perchè in certe regioni, in cui tutte, per così dire, le valli (Nuova Zelanda, Magellano, Groenlandia, ecc.) sono *fiords*, non si vedono laghi? La quistione esce un pochino troppo dai confini naturali di questo scritto: ma il lettore mi farà grazia di questa specie di digressione, la quale varrà del resto a porre ancor meglio in saldo quanto si è detto sull'origine dei laghi lombardi o in genere sulle evoluzioni che ebbe a subire l'alta Italia in conseguenza dell'epoca glaciale.

4. Ragione dell'esistenza e della distribuzione dei *fiords* nell'epoca attuale.

Per rispondere alla domanda, — perchè abbiano, dirò, avuto un così diverso trattamento la Lombardia, i cui antichi *fiords* furono tutti o colmati o convertiti in laghi; la Norvegia, dove gli stessi *fiords* furono in parte conversi in laghi e in parte lasciati liberi, e la Groenlandia con altre regioni parecchie, dove non vi son laghi, rimanendovi ancora tutti liberi i *fiords*, — io mi limito unicamente a considerare i *fiords* in quelle regioni che si trovassero di fatto, come quelle citate, nelle condizioni della Lombardia. Non vado a vedere, per es., perchè in Dalmazia, in Grecia, sulle coste dell'Asia minore esistano *fiords* classicissimi, mentre in quelle regioni non si rimarcano, o si rimarcano soltanto deboli traccie dell'invasione di antichi ghiacciai. Dal momento che ammetto i *fiords* preesistenti ai ghiacciai, lasciata da parte la quistione della loro origine mentre non li consideriamo altrimenti che come spaccature originarie delle masse continentali, possiamo limitarci a cercare perchè furono o non furono sbarrati in quei paesi dove i ghiacciai ebbero uno sviluppo come da noi ed anche molto maggiore. È nell'accingerci a trovare questo *perchè*, che ci si fa innanzi un fatto notato da tutti, ma non da tutti trattenuto, per riguardo all'interpretazione, entro i limiti del suo giusto valore.

Il fatto è questo: che i *fiords* (parliamo soltanto dell'emisfero settentrionale) sono compresi, si può dire senza eccezione, in una certa zona, la quale rappresenta soltanto una porzione della gran zona descritta dallo sviluppo degli antichi ghiacciai. E questa porzione non è nè la più avanzata verso il polo, nè la più avanzata verso l'equatore. La zona dei *fiords* è una zona media che gira intorno all'emisfero nord, contenuta su per giù tra il 51° e il 71° di latitudine settentrionale. Se guardiamo all'emisfero australe, la cosa si ripete approssimativamente negli stessi termini: i *fiords* cominciano verso il 45° di latitudine meridionale e si trovano fin dove c'è terra, cioè fino al Capo Horn, circa 56°.

Regioni classiche pei *fiords* sono in Europa lo Spitzberg, le coste occidentali della Scandinavia, settentrionali ed occidentali della Scozia, occidentali d'Irlanda, occidentali e settentrionali d'Islanda, occidentali ed orientali della Groenlandia. Nell'America sono a *fiords* le coste settentrionali del Labrador e verso l'Atlantico quelli della Nuova Finlandia, della Nuova Scozia, e dello Stato Maine. Le coste occidentali del nord America sono ancora più ricche di *fiords*, come può rilevare chicchessia dalle carte geografiche che comprendono le isole Vancouver.

Nell'emisfero australe abbiamo per l'America quel maraviglioso labirinto d'isole, scogli, canali, che comincia colle isole Chiloe, al 41.° e $^3/_4$ di latitudine, continua colle coste occidentali della Patagonia e lo stretto di Magellano fino all'estremità sud del continente americano. Nell'istesso emisfero abbiamo poi distintissime pe' suoi magnifici *fiords*, che richiamano così stupendamente la disposizione orografica dei nostri antichi *fiords*, cioè delle grandi valli lacustri subalpine, le coste occidentali della grand'isola meridionale della Nuova Zelanda.

L'esistenza dei *fiords* non è punto legata alla natura delle rocce. Questa non influisce che sulle loro forme accidentali. Li troveremo, cioè, stretti e chiusi

tra pareti a picco, quando la roccia è dura, resistente all'atmosfera, come sono i calcari compatti, i serpentini, i graniti. Si allargheranno invece dove le pareti sono costituite da schisti argillosi, micacei, ecc.: ciò vuol dire che i *fiords* non sono altro, in origine, che spaccature, o chiuse, le quali vennero allargate successivamente dall'erosione meteorica, dall'azione delle acque correnti, e un pochino anche dagli antichi ghiacciai che dovettero occuparli.

Ora si domanda perchè in tutte le citate contrade non si verificano le stesse condizioni in cui si trovano attualmente la Lombardia e la Norvegia? Perchè manca quell'apparato glaciale ed alluvionale che impedisce agli antichi *fiords* delle due regioni citate la comunicazione diretta col mare? Perchè insomma i *fiords* della Groenlandia, delle isole Vancouver, della Patagonia, della Nuova Zelanda, ecc., sono liberi, come lo erano i nostri prima che discendessero gli antichi ghiacciai? Forse in quei paesi non si svolsero o meno che ai piedi dell'Alpi i ghiacciai? Tutt'altro! Sappiamo che lo svolgimento degli antichi ghiacciai costituisce un fenomeno universale; che il loro sviluppo avvenne in proporzione diretta all'altezza della latitudine delle diverse contrade; che insomma i ghiacciai, i quali occuparono la Scozia, la Groenlandia, e dicasi pure la Patagonia (1), la Nuova Zelanda e tutte le regioni a *fiords* collocate nelle zone meno temperate di quella in cui è posta l'alta Italia, superarono dieci e cento volte di mole e d'estensione gli antichi ghiacciai delle Alpi. Ma è appunto perchè così potenti che quegli antichi ghiacciai nè strozzarono nè sbarrarono i *fiords*, anzi li protessero. La mia idea è questa (e parmi affatto consentanea alla natura dei fatti): che mentre i ghiacciai dell'alta Italia, molto meno sviluppati di quelli della Scozia, della Groenlandia, ecc., non furono potenti che a spingersi fino allo sbocco dei *fiords*, dove cioè essi aprivansi in mare, quegli altri che invadevano contemporaneamente le regioni suddette, dieci e cento volte più potenti, furono capaci, non solo di invadere i *fiords*, non solo di giungerne fino allo sbocco, ma di uscirne, di spingersi in alto mare, portando chissà dove le loro morene, se pure ne edificarono. Pare infatti abbastanza dimostrato che i ghiacciai della Groenlandia e delle coste orientali dell'America del nord si fondessero in una sola ghiaccia mostruosa, che si spinse tutta d'un pezzo nell'Atlantico, e probabilmente fino ai confini dell'Europa, rompendosi a suoi limiti meridionali in colossali *Icebergs*, che andavano a disperdere il detrito morenico sul fondo dell'Oceano. Io credo infatti che l'idea migliore che noi possiamo formarci del gran mare glaciale Artico d'allora è quella su per giù che ci porge dell'attuale mar glaciale Antartico il Ross quando ci dice che, arrivato al punto più inoltrato verso il polo sud, gli fu vietato di oltre procedere da una muraglia di ghiaccio dell'altezza di 180 piedi:

(1) Quanto all'universalità del fenomeno che caratterizza l'epoca glaciale, e all'enorme sviluppo degli antichi ghiacciai, proporzionale all'altezza della latitudine, si hanno, per riguardo all'emisfero boreale, le notizie più positive. Si può vedere in proposito il mio *Corso di geologia* (Vol. II, c. XXVIII). Nello stesso Capitolo si hanno quelle poche notizie che ho potuto raccogliere circa l'immenso sviluppo degli antichi ghiacciai nell'America del sud. Quanto alle coste occidentali della Patagonia, è noto che i ghiacciai discendono anche attualmente fino al mare anche prima del 50° di latitudine. Leggo poi in una relazione manoscritta, gentilmente favoritami dal nostro illustre viaggiatore l'ing. Felice Giordano, di alcune osservazioni eseguite nel 1875 durante il suo viaggio di circumnavigazione queste precise parole: « A me parve di vedere nello stretto di Magellano molte rocce granitiche *moutonnées*, ciò che indicherebbe qui pure un'antica maggiore estensione di ghiacciai ». Nella stessa relazione trovo delle notizie ancora più positive riguardo alla Nuova Zelanda. Eccole: « Lungo la costa occidentale dell'isola meridionale della Nuova Zelanda corre, a pochissima distanza dal mare, la catena molto elevata delle Alpi occidentali (Western-Alps), il cui punto culminante, il monte Cook, è di 400 metri precisamente. La latitudine media di questa catena corrisponde al 43°. La medesima è costituita di rocce più o meno cristalline ed è ricca di grandi e lunghi ghiacciai, con tracce evidenti di un'antica assai maggiore estensione. Alle sue falde occidentali, bagnate dal mare sovente tempestoso, si vede un'immensa congerie di materiale detritico battuto dalle onde, il quale non è che una agglomerazione morenica ivi deposta dagli antichi ghiacciai che scendevano fino al mare. Oggidì i ghiacciai si arrestano ad una certa lontananza dall'Oceano. Quelle accumulazioni moreniche, giusta l'avviso del geologo Hanst, direttore del museo di Canterbury nella Nuova Zelanda, avrebbero avuto luogo nell'epoca postpliocenica, quando i ghiacciai erano molto più estesi, e, secondo lui, andavano a finire in mare ».

che navigò lungo di essa per 450 miglia senza vederla mai interrotta, senza una isoletta che se ne staccasse o un seno che la incidesse, sempre in pericolo di vedere le sue navi schiacciate dalle montagne di ghiaccio che si staccavano da quella muraglia. Quando trovò finalmente un punto d'approdo, arrampicatosi sulla sommità di quella stessa muraglia, vide essere la medesima la troncatura di un sconfinato altipiano tutto di ghiaccio, di una specie di mare d'argento, che si distendeva tutto piano verso il polo, senza che l'occhio, per quanto vi si spingesse, n'abbia trovato il confine. Così io credo che la baja di Baffin, unitamente a quella porzione dell'Atlantico che si distende tra il banco di Terra Nuova e la Scandinavia, compresovi il mare del Nord, formassero un solo gran mare di ghiaccio, di cui non vorrò determinare nemmeno approssimativamente i confini. Quel mare di ghiaccio risultava dalla confluenza dei ghiacciai di tutte le terre che esso cingeva, pigliandovi ciascuno la sua parte i versanti al mare dell'America settentrionale, della Groenlandia, dello Spitzberg, della Scandinavia e della Scozia. Non disputo fino a qual punto quella enorme ghiaccia fosse unita, e in qual periodo di tempo più o meno lo fosse. Tutti i fatti raccolti ci autorizzano però a ritenere per certo che i grandi ghiacciai, i quali occuparono per intero le nominate regioni, compresevi, s'intende, la Svezia e la Scandinavia, colmati i *fiords* da cima a fondo, e quindi messili in salvo da qualunque altro ingombro durante l'epoca glaciale, si avanzassero in mare a molta distanza. Quando gli stessi ghiacciai si ritirarono, i *fiords* rimasero vuoti e liberi di nuovo, salvo il detrito morenico, che gli stessi ghiacciai vi poterono per avventura abbandonare nella loro ritirata, e che fu sufficiente ad erigere sul fondo dei *fiords* dei rilievi morenici sotto-marini (come risulta dai molti scandagli praticati nei *fiords* della Norvegia e della Groenlandia), ed anche a sbarrarne taluni, trasformandoli in laghi. Quest'ultimo inciso si riferisce principalmente alla Norvegia ed alla Scozia, dove naturalmente gli antichi ghiacciai ebbero uno sviluppo minore che in Groenlandia; dove pertanto le condizioni di quel tempo si avvicinano più o meno a quelle in cui si trovava l'alta Italia: per cui è naturale che succedesse almeno parzialmente quel fenomeno che si verificò senza eccezione nell'alta Italia, dove i *fiords* furono tutti o colmati, o sbarrati e convertiti in laghi.

Il signor Peschel, attribuendo l'origine dei *fiords* all'azione erosiva immediata delle correnti e dei ghiacciai, fa notare, a prova della sua tesi, i rapporti che esistono tra le regioni a *fiords* e le loro condizioni meteorologiche. I limiti dei *fiords* verso l'equatore coincidono, dice egli, per l' Oceano sud coi limiti polari delle stagioni delle piogge. I *fiords* cadono dunque entro i limiti della zona dove si hanno piogge durante tutto l'anno. I *fiords* sono poi sviluppati al massimo dove le piogge sono più abbondanti, come sulle coste dell'America russa, della Norvegia e della Patagonia. Ben nutrite di pioggia sono anche l'Islanda, l'Irlanda e la Scozia. Conclude da tutto questo che l'esistenza dei *fiords* è legata a certe condizioni climatologiche, con che vorrebbe dire che essi non rappresentano altro che il risultato dell'azione erosiva esercitata dalle piogge e dalle nevi, alla cui caduta sono più propizie le coste occidentali che le orientali.

I fatti a cui si appoggia la teorica del sig. Peschel sono innegabili: ma accettando il fatto, ch'io credo aver dimostrato, che i *fiords*, qualunque ne sia l'origine, esistevano prima dell'epoca glaciale, i loro rapporti colle condizioni meteorologiche speciali delle regioni dove si trovano, si volgono molto naturalmente in favore della mia teorica, la quale non si fa carico della loro conservazione fino ai tempi attuali. Infatti dove più piove, anche più nevica; dove più nevica, maggior sviluppo hanno i ghiacciai, quindi più sicura la conservazione dei *fiords*, che furono soggetti alla loro azione protettrice durante l'epoca glaciale. La Patagonia è lì per attestarlo, mentre in quella terra, che si può chiamare il regno della pioggia, non vediamo noi anche attualmente, ad onta di un clima dolcissimo, con una temperatura media invernale di circa tre a quattro gradi sopra zero, discendere le nevi perpetue fino ai 600 metri sopra il livello del mare, e fino al mare discendere i ghiacciai fra il 40° e il 50° di latitudine?

Bisogna però ammettere che il fatto della conservazione dei *fiords* sulle coste della Groenlandia, della Norvegia, della Nuova Zelanda, ecc., non dipese soltanto da ciò, che l'antico detrito morenico dovette, in genere, deporsi o andare disperso ben lontano dagli stessi *fiords* occupati dai ghiacciai. Abbiamo veduto quanto il rialzo del fondo marino, anche prescindendo dai depositi glaciali immediati, abbia contribuito allo sbarramento od alla colmata dei *fiords* dell'alta Italia. Ciò era voluto dalle condizioni speciali dell'antico golfo Adriatico, così angusto, così stretto tra l'Apennino e le Alpi, che il processo della colmata doveva avervi luogo con una rapidità affatto eccezionale. Così i ghiacciai che vi mettevano capo ebbero assai poco da fare per riempire o sbarrare i rispettivi *fiords*. Ben altre sono le condizioni della Groenlandia, della Norvegia, della Nuova Zelanda, dove i *fiords* si aprono e si aprivano in seno al gran mare. La baja di Baffin e il mare del Nord, dove l'Oceano settentrionale presenta le maggiori stretture, saranno sempre le 10 e le 20 volte più larghi dell'antico golfo Adriatico che si distendeva dal piede delle Prealpi lombarde a quello delle colline subapenniniche della Liguria. È naturale che i sedimenti marini, mentre condensati nel golfo Adriatico ne rilevavano rapidamente il fondo sicchè in oggi lo vediamo perfettamente colmato, nell'Oceano settentrionale e nelle sue vaste diramazioni avessero campo di espandersi sopra immensa superficie, tanto che anche in oggi quei mari non accennano nemmeno quel processo di colmata che pure dopo secoli e secoli (stando le cose come sono) dovrebbe ridurli alle condizioni della pianura lombarda.

Ammessa questa mia teorica che tutto fa dipendere, quando riguarda i *fiords* delle antiche regioni glaciali, o colmati, o sbarrati, o liberi, dal fatto negativo o positivo dell'essere stati piuttosto ingombri che protetti dagli antichi ghiacciai in ritirata, guardi il lettore come si spiegan bene i principali fenomeni che si presentano nelle diverse regioni, sotto qualunque latitudine siano poste, in cui si incontrano dei *fiords:*

1.° Nelle regioni equatoriali o abbastanza vicine all'equatore, i *fiords*, dove la natura delle coste e il loro sollevamento hanno permesso che si formassero, quando non siano internati per la ragione dei delta, i quali hanno nelle regioni equatoriali un sì grande sviluppo (1), si conservano ancora aperti perchè gli antichi ghiacciai o non si formarono o vi ebbero un piccolissimo sviluppo. Sono, per es., regioni a *fiords* la Grecia e l'Asia minore, che non la cedono, sotto questo rapporto, nè alla Patagonia nè alla Nuova Zelanda. Ma nessuna traccia vi fu notata, ch'io mi sappia, degli antichi ghiacciai (2).

2.° Nell'alta Italia, che è la regione più meridionale dove gli antichi ghiacciai poterono avere uno sviluppo sufficiente ad operare certi fenomeni in grande, essi ingombrarono gli antichi *fiords;* ma, arrestandosi o dentro essi o al loro sbocco in mare, li sbarrarono e convertirono in laghi.

3.° Nella Scozia e nella Norvegia lo sviluppo degli antichi ghiacciai fu proporzionalmente maggiore di quello che ebbero nell'alta Italia. Mentre alcuni di

(1) Non sarebbe che un gran *fiord*, per es., l'alta valle del Nilo, quando non si fosse formata la grande alluvione nilotica.

(2) Il sig. Peschel cita le coste della Dalmazia, come quelle che richiamano i *fiords* delle isole Vancouver. Ma sono, egli dice, d'altra natura, essendovi quei canali di mare determinati da rilievi paralleli poco elevati, senza pareti a picco, senza indizi di erosione meteorica. Lo stesso ripete riguardo al Peloponneso, che per le sue digitazioni fu paragonato da Strabone ad una foglia di platano, e riguardo alle coste dell'Asia minore colla penisola della Colchide che si direbbero formare, osserva lo stesso Peschel, una Terra del fuoco mediterranea. Nessuna delle accennate ragioni vale a stabilire una sostanziale differenza tra le regioni meridionali accennate, e quelle che nelle due zone fredde a nord e a sud sono meglio caratterizzate dalla presenza dei *fiords*. Trattasi semplicemente di una questione di più o di meno, non sempre sostenibile, mentre conobbi abbastanza l'Arcipelago greco e l'Asia minore per poter dire che vi sono gole e stretti che rispondono benissimo all'ideale più puro dei nordici *fiords*. Ma quando si tratta di valli, di canali, di stretti, anteriori alle invasioni degli antichi ghiacciai, che importa che siano piccoli o grandi, bassi o profondi, larghi o stretti, a pareti, a picco o a morbidi pendii? Tanto il loro riempimento come la loro conservazione dovevano essere regolati dalle stesse leggi.

quei ghiacciai si arrestarono presso lo sbocco dei *fiords* e sbarrandoli ne fecero dei laghi, come in Lombardia; altri si spinsero in alto mare, e ritirandosi a loro tempo, lasciarono dei *fiords* liberi, come nella Groenlandia e nella Nuova Zelanda.

4.° Uno sviluppo ancora maggiore ebbero i ghiacciai nella metà a sud delle coste occidentali della Groenlandia: quindi nessun lago, e tutti i *fiords* rimasero liberi come li vediamo al presente.

5.° Nella metà settentrionale della stessa Groenlandia non esistono nè laghi nè *fiords*, mentre i ghiacciai, anche al presente sviluppatissimi, formano una sola ghiaccia che si distende comunque fino al mare. Se venisse un'epoca in cui scomparissero i ghiacciai polari, le regioni più classiche per lo sviluppo dei *fiords* sarebbero appunto, colla Groenlandia settentrionale, tutte le terre poste sotto le stesse latitudini.

5. Laghi intermorenici, frontali e laterali di sbarramento.

Aggiungiamo, come appendice di quanto abbiamo detto sulla formazione dei grandi laghi lombardi, qualche cenno sull'origine di molti laghetti i quali, essendo disseminati su tutta l'antica zona glaciale dell'alta Italia, mostrano già di essere per ciò in intima corrispondenza cogli antichi ghiacciai e di formar parte probabilmente dell'apparato glaciale.

Nella regione dei ghiacciai alpini attuali abbiamo dei laghi, abbiamo dei laghetti che occupano immediatamente le depressioni tra morena e morena, come per es. il Tacul sulla *Mer de glace* a Chamouny, e quello che si vede in grembo alla grande morena con cui il ghiacciajo di Miage ha sbarrato la Dora Baltea formando il lago di Combal.

Ve ne sono altri formati per lo sbarramento delle valli laterali, come il citato Combal, il lago di Malmark nella valle sbarrata dal ghiacciajo di Allalein, e il lago della Langthal formato per lo sbarramento di questa valle operato dal ghiacciajo della valle dell'Oetz. Non è così facile che si trovino ora dei laghi tra la morena frontale e un ghiacciajo attuale che le stia contro a breve distanza, soggetto a continue oscillazioni. Ma si intenderà facilmente come, ritirandosi il ghiacciajo definitivamente, possa la morena frontale, facendo argine al torrente, trasformare in lago il letto dal ghiacciajo abbandonato.

Dobbiamo dopo ciò aspettarci che gli antichi ghiacciai ne abbiano creati a migliaja di questi laghi, i quali siano rimasti lungo tempo dopo il loro regresso, e forse rimangono ancora. Li distingueremo adunque in tre categorie, sperando di collocare uno o più laghi dell'alta Italia in ciascuna:

1.° *Laghi intermorenici.* — Chiameremo così quelli che occupano le depressioni tra morena e morena.

2.° *Laghi frontali.* — Quelli che occupano l'arena di un anfiteatro.

3.° *Laghi laterali di sbarramento.* — Quelli che occupano il fondo di una valle laterale sbarrata da un' antica morena.

Contiamo tra i laghi intermorenici il laghetto di Sartirana presso Merate e i tre presso Rivoltella, Peschiera e Castellaro tra le morene costituenti il grande anfiteatro di Garda. Ne conteremmo altri a centinaja, se quegli stagni piccoli e bassi non avessero avuto troppo tempo di convertirsi in torbiere. Queste si incontrano infatti a centinaja nelle depressioni intermoreniche degli anfiteatri dell'alta Italia.

Alla seconda categoria dei *laghi frontali*, che occupano l'arena, ossia l'interna depressione degli anfiteatri morenici e sono abbastanza vasti ma poco profondi, ascriveremo anzi tutto i laghi d'Avigliana e di Trana entro l'anfiteatro della Dora Riparia e quelli di Candia e d'Azeglio nell'anfiteatro della Dora Baltea (1). I due

(1) Vedi sopra a pag. 66 e 68, e le *Tav.* X e XI.

primi sono semplici infossature a fondo piatto, con una profondità massima di m. 26 pel lago d'Avigliana e di m. 12 per quello di Trana (1). Manco di notizie circa gli altri due.

Alla terza categoria appartengono molti laghi riempiti già durante l'epoca glaciale. Di alcuni parleremo più tardi a miglior uopo. Ritengo moltissimi convertiti in torbiere. Quelli che rimangono sono pochi, ma divengono assai se mettiamo in questa categoria quei laghi intermorenici che risultano dallo sbarramento di piccole gole, di valli e di semi nello spazio occupato dai grandi anfiteatri, dove essi dovettero, come quelli del lago Maggiore e del lago di Como, svilupparsi sopra un terreno irto ancora di colline rocciose. Tipo dei laghi laterali di sbarramento rimasti è il Delio sulle montagne di Maccagno, di cui parlammo a pag. 74. Nomineremo in seguito il gruppo dei laghi di Varese, Bardello, Monate e Comabbio, le cui sponde sono formate in parte dalle morene e in parte anche maggiore dai terreni saldi, calcari o marnosi del nummulitico e della creta. Viene più ad est il gruppo dei laghi briantei, quelli cioè di Montorfano comasco, d'Alserio, di Pusiano e d'Annone, trattenuti dalle morene in seno a bacini scavati nelle rocce cretacee. Il laghetto del Segrino nella Valassina è un modello in piccolo dei nostri grandi laghi, mentre riempie una piccola chiusa con sponde a picco o ripidissime tra Canzo e Longone, sbarrata a mezzodì dalla grande morena che discende verso il lago di Pusiano. I laghetti che si formano ora soltanto in seguito a grandi piogge nelle vicinanze di Lecco, conosciuti sotto i nomi di laghetti di Ballabio e di Neguccio, occupano ugualmente il fondo di due chiuse a picco, sbarrate dalla grande morena laterale che riempiva il seno di Lecco tra il S. Martino e il Resegone. Nelle stesse condizioni a un dipresso si trovano i laghi persistenti di Gajano e Spinone nella Val Cavallina, già percorsa da un ramo del grande ghiacciajo del lago d'Iseo (2).

(1) Gastaldi, *Scandagli dei laghi del Moncenisio*, ecc., Torino 1863.
(2) Vedi la *Tav. II.*

XII.

ANTICHI LAGHI DI SBARRAMENTO DELL'EPOCA GLACIALE E LORO DEPOSITI

1. Antichi laghi di sbarramento sulla sponda del lago di Como.

Dopo quanto abbiam detto sullo sviluppo dei ghiacciai alpini, sui terreni da loro creati sotto forma di morene o d'anfiteatri morenici, sui rapporti esistenti tra gli antichi ghiacciai e il mare che occupava ancora nell'epoca glaciale la pianura eridana e tutta l'alta Italia fin quasi al livello superiore degli anfiteatri morenici; ci si affacciano questioni del più alto interesse, come sarebbero quelle delle condizioni in cui si trovavano allora le altre parti del nostro paese dove non giunsero i ghiacciai; dei diversi depositi che si andavano contemporaneamente formando; delle oscillazioni del suolo, e specialmente del sollevamento, per cui gli stessi depositi marino-glaciali trovansi ora internati a più centinaja di metri sul livello attuale del mare; delle condizioni climatologiche dell'epoca glaciale; delle cause che la determinarono; delle piante che vegetavano in Italia in quei tempi, e degli animali che la popolavano. Ma appunto m'avvedo, giacchè si parla di piante e d'animali, che non è possibile ormai dare un passo innanzi, senza ricorrere alle reliquie organiche che di quell'epoca ci siano ancora per avventura rimaste, senza invocare insomma l'ajuto della paleontologia.

È vero che noi siamo in possesso di una fauna marina, ricco tributo della paleontologia glaciale, raccolto dalle morene littorali o sottomarine di Como e di Ivrea. Ma sappiamo in pari tempo che la paleontologia marina va perdendo del suo valore geologico mano mano che si svolge la paleontologia terrestre, che è come dire mano mano che agli antichi mari si sostituiscono le nuove terre. Trattandosi poi dell'epoca glaciale, la quale entra quasi assolutamente nel dominio della geologia continentale, come si potrebbe avere un'idea delle condizioni delle terre glaciali, nominatamente dell'Italia nostra, terra glaciale per eccellenza, finchè non s'arriva a conoscerne almeno in parte gli abitatori per mezzo delle loro reliquie fossilizzate? Ma la grave difficoltà è questa: che i terreni glaciali propriamente detti, cioè i depositi immediati dei ghiacciai, possono dirsi, per troppe ovvie ragioni, la negazione dei fossili. Questi bisognerà dunque cercarli in terreni dell'epoca glaciale, ma originati altrimenti che dai ghiacciai; insomma nei terreni *equivalenti,* ossia contemporanei al terreno glaciale propriamente detto: e per stabilirli, servirsi di altri criterî che non sia quello della comunanza delle specie fossili caratteristiche, usato ora universalmente e quasi unicamente dai geologi per

determinare gli equivalenti dei terreni sedimentari. Stabilito che siasi, in base alla pura geologia e prescindendo affatto dalla paleontologia, almeno alcuno degli equivalenti del terreno glaciale, e trovatolo fossilifero; ci serviremo allora dei fossili scopertivi per determinare altri equivalenti, venendo così sempre più a completare la flora e la fauna glaciale, e per esse a conoscere sempre meglio le condizioni e la storia fisica dell'Italia dal principio fino al termine di quella grand' epoca che chiamossi glaciale o *neozoica* (1).

Se vi ha terreno che, senza bisogno di ricorrere ai fossili, possa dirsi contemporaneo, e quindi equivalente del terreno glaciale, è quello la cui formazione fu precisamente determinata dai ghiacciai. Tale è adunque il terreno lacustre che depositossi sul fondo dei laghi, i quali, come abbiam detto, dovettero formarsi, e si formarono infatti, quando gli antichi ghiacciai, percorrendo le lunghe vallate recipienti, si gettarono attraverso i confluenti, arrestandone le acque come farebbe un argine eretto all'uopo. I geologi badarono veramente troppo meno che non meritasse ad un fenomeno così fondamentale, che ci dà, secondo il mio modo di vedere, la chiave dei segreti dell'epoca glaciale, permettendoci di studiarla coll'applicazione di quei criterî, in base ai quali furono studiate le epoche precedenti. Prego il lettore a seguirmi attentamente in un campo che si può dire inesplorato, e che fin dai primi passi promette di dissipare molti errori e stornare molti pregiudizî che impedirono di veder chiaro nella storia delle epoche che precedettero immediatamente l'uomo.

Abbiamo veduto come nelle Alpi non è raro il caso di osservare un lago, che occupa una valle laterale ad un ghiacciajo, sostenuto dal ghiacciajo stesso che gli serve di diga. Abbiamo anche veduto testè come vi siano ancora in Italia dei laghi che occupano valli laterali a quelle percorse dagli antichi ghiacciai e sono anche in oggi sostenuti dalle antiche morene. Ma quanti di questi *laghi laterali di sbarramento* dovettero formarsi dal momento che i nostri grandi ghiacciai discesero dalle somme vette dell'Alpi fino al mare?

I ghiacciai che discendevano, p. es., dalle vette del Gottardo, dello Stelvio, del Tonale, non potevano spingere le loro morene frontali fino ai lembi settentrionali della lombarda pianura, se prima non s'eran gettati attraverso a migliaia di valli, ciascuna delle quali poteva, dirò anzi doveva, convertirsi in un lago. I torrenti sbarrati casualmente dai ghiacciai nelle loro oscillazioni frontali, e costretti a formare un lago, furono visti più volte nelle Alpi impegnare una lotta contro il nemico e sfondare la barriera (2). Non così facilmente lo possono o lo avranno potuto i torrenti, incarcerati da enormi ghiacciai incombenti colla mole enorme, e che spingono o spingevano ben oltre la loro fronte, assolutamente inamovibili, perchè profondamente incassati, premuti, quasi entro uno stampo, nella valle. I *laghi glaciali* dovevano essere perciò permanenti e durarla, se fa uopo, tutto quel periodo smisurato di tempo in cui durò lo sviluppo degli antichi ghiacciai. In quei laghi dovevano naturalmente formarsi depositi d'indole lacustre: la torbida dei torrentelli, provenienti per avventura da ghiacciai superiori alla valle sbarrata, il disgelo del ghiacciajo che serviva di sbarra, la lavatura della morena laterale, flagellata dall'onde del lago; tutto infine doveva contribuire ad accrescere a dismisura la potenza dei sedimenti lacustri. Siccome poi i ghiacciai discendono in seno a regioni temperate, e tanto più basso si spingono quanto più grandi essi sono; così le regioni dei nostri antichi ghiacciai dovevano essere temperate, anzi relativamente temperatissime. Nessuna maraviglia, quindi, se una vegetazione rigogliosa rivestisse le sponde di quei laghi glaciali, e vi si abbeverassero gli animali terrestri, e pesci e conchiglie ne popolassero le onde. Avremmo, nel caso supposto, una serie di depositi, di formazioni sedimentarie, fossilifere, contemporanee dei ghiacciai, e che ci avranno conservati tanti preziosi documenti di quella misteriosa età.

(1) La materia del presente Capitolo è presa per intero dal mio *Corso di geologia*.

(2) Si allude alla catastrofe avvenuta nella valle dell'Oetz tra il 1844 e il 1847 e in quella della Drance nel 1818, sbarrate l'una dal ghiacciajo di Vernagt, l'altra da quello di Giétroz (*V. pag.* 32).

Si ragionò finora in via d'ipotesi, ma in realtà non feci altro che esporre dei fatti da me ad uno ad uno e in più luoghi verificati. I depositi lacustro-glaciali sono, per mio avviso, una pagina della storia dell'epoca glaciale, tanto più luminosa quanto men letta finora. I fatti da me raccolti esigono un ampio lavoro illustrativo. Qui non potrò che citarne sommariamente alcuni e cavarne alcune deduzioni, che basteranno almeno, io spero, a chiamare l'attenzione dei geologi sopra il nuovo campo aperto alle loro indagini, che promette, il ripeto, di essere fecondissimo e vastissimo.

I pochi studî da me eseguiti in un campo ristrettissimo, quello di alcune valli subalpine di Lombardia, mi rivelarono già tanti depositi lacustro-glaciali, che la sola regione delle Alpi deve offrircene tanti, e così fossiliferi, da costituire un gran terreno glaciale, e da richiamare in vita una gran fauna glaciale. Anderemo poco lungi dal vero asserendo che tutte le valli laterali subalpine devono offrire un deposito, o lacustre in senso stretto, o almeno rimestato dalle acque, stratificato, e quindi capace di contenere reliquie organiche. Il lago di Como, p. es., me ne ha già offerto parecchi.

Il seno di Tremezzina deve le sue deliziose verzure alla morena laterale dell'antico ghiacciajo che lo colmò di fertile terriccio; ma la stessa morena sbarrava naturalmente il torrente che discende dal monte Galbiga, e mette foce nel lago presso Tremezzo. Il pietrame calcareo doveva quindi arrestarsi davanti a quell'ostacolo, formando un deposito lacustre d'indole torrenziale. Questo deposito esiste in fatti, e, roso più tardi dal torrente, lo si vede ora sul lato destro del torrente stesso in forma di un gran terrazzo, composto di pietrame calcareo, derivato dalla sovrastante montagna.

Un altro seno laterale è quello alle Fornaci di Paré, sulla riva occidentale del ramo di Lecco. Quel seno è poco profondo; lo è però abbastanza perchè, sbarrato da principio dalla morena laterale, si convertisse, a quel che pare, in uno stagno, in una pozzanghera, la quale venne più tardi sepolta sotto il detrito glaciale, quando il ghiacciajo si allargò e levossi fino alle vette della montagna che fiancheggia il lago. Recentemente sotto al detrito morenico, misto allo sfasciume dolomitico, che si scava per la fabbricazione della calce, si scoprì un deposito argilloso, cogli avanzi di un cervo, ancora indeterminato, ma che io sospetto essere l'Alce. Vuolsi che ossami siano stati scoperti nella morena al ponte di Lecco. La morena sinistra, che si insinuava nel gran seno, ora occupato dal territorio di Lecco, doveva sbarrare naturalmente i tre torrenti che le percorrono, il Gerenzone, il Caldone, il Bione, e crearvi tre seni, quindi tre depositi lacustri. Il primo, quello cioè che doveva formarsi per l'arresto del Gerenzone allo sbocco della Valsassina, è, quanto si può dire, stupendo. Al ponte di Malavedo sopra San Giovanni alla Castagna vedesi in fatti come il Gerenzone, dopo aver tagliato verticalmente l'enorme morena, venne a sprofondarsi entro un gran deposito di argille, regolarmente stratificate, alternanti con straterelli di sabbia, che dà alimento alle fornaci di mattoni sul posto. Quel deposito, d'indole assolutamente lacustre, contiene dei tronchi torbificati, ed ha uno spessore almeno di 50 metri. È ricoperto da morena, in parte cementata, in parte affatto incoerente, ricca di massi erratici alpini e di ciottoli striati. Del secondo deposito lacustre, che dovette formarsi per lo sbarramento del Caldone, non esiste nessuna traccia. Quel torrente, scendendo lungo il fianco settentrionale del Resegone, sbocca da una gola lunga, angustissima, a pareti verticali. Esso dovette pertanto spazzare in breve tempo il deposito lacustre affatto incoerente, fino a scoprire la roccia calcarea, che venne pure da esso fortemente intaccata. Più in giù la morena sinistra dovette sbarrare la Galavesa, ove sbocca da un'orrida gola sotto Valderve: e noi troviamo come questo ridente paesello esista in seno a quelle ignude montagne perchè vi esiste un potente deposito di argille stratificate, certamente lacustri, che prestarono agli agricoltori un facile terriccio. Più in giù ancora abbiamo il piano di Berbenno, che si stacca, a modo di piattaforma, dall'erto fianco della montagna.

Quel piano è un antico lago, che riempiva un seno dell'Albenza sbarrato dalla morena.

In tutti i descritti bacini dovrebbero facilmente trovarsi delle ligniti, delle foglie, degli ossami. Per sventura, o non si scavano, o nessuno ha badato finora ai fossili che vi furono per avventura scoperti. Ciò che ancora si desidera dai depositi lacustro-glaciali del lago di Como, si ottenne tuttavia esuberantemente da quelli del lago d'Iseo. Noi conosciamo già il sistema glaciale di quella regione per ciò che riguarda lo sviluppo dei ghiacciai e delle morene. Ora ci ritorniamo per studiarvi i depositi lacustro-glaciali, che vi presentano un singolare sviluppo, come dimostra la carta del *Sistema glaciale del lago d' Iseo* (1), che il lettore vorrà di nuovo tenersi sott'occhio durante la rassegna di quelle formazioni a cui passiamo sull'istante. Cominceremo con una descrizione generale di quel sistema glaciale sotto questo nuovo punto di vista, per discendere poscia alle specialità di ciascuno di quei depositi tanto interessanti, come quelli che ci danno i primi dati sicuri della paleontologia glaciale applicabile alla ricerca degli equivalenti.

2. Antichi laghi laterali di sbarramento appartenenti al sistema del lago d'Iseo.

L'antico ghiacciajo della Val-Camonica, giunto, come abbiamo veduto, ai limiti settentrionali del lago d' Iseo, dopo aver sbarrata e convertita in lago la valle del Dezzo, come abbiam visto (2), trovava aperta sulla destra la strettissima gola di Castro, per cui si gettava nella Val-Cavallina, formando un ghiacciajo laterale, che scendeva fin presso a Trescorre, occupando il letto del Chiese. In questa mossa lo stesso ghiacciajo veniva necessariamente a sbarrare il torrente Borlezza. La valle Borlezza convertivasi in lago, come mostra la *Carta*, e questo lago veniva in parte nutrito dalle acque che discendevano dal monte Presolana, a nord-est di Clusone, cioè dal torrente Borlezza, e in parte dallo scolo del ghiacciajo della Val Seriana che riempiva il bacino di Clusone. La valle Borlezza ha infatti l'aspetto di un lago prosciugato, ed è riempita da un enorme deposito lacustre, misto a detrito glaciale, e ricoperto da esso, come meglio diremo riportando i particolari di quel deposito interessantissimo. Oltrepassata la gola di Castro, il ghiacciajo della Val-Camonica riempiva l'attuale bacino del lago d'Iseo, formava i descritti riempimenti morenici di Tavernola a destra, di Tassano a sinistra, e veniva a distendere l'arco frontale delle sue morene tra Iseo e il colle d'Adro col suo ramo a sinistra. Il ramo a destra s'insinuava tra il colle d'Adro e le montagne di Sarnico. Spingendosi così fin presso Capriolo, veniva a sbarrare la valle Adrara e la valle del Foresto, rimanendo entrambe converse in laghi. Ambedue le valli sono ancora in parte sbarrate dalla morena laterale destra, e riempite di antichi depositi lacustri, che ci forniranno pure interessanti particolari. Per ultimare la rassegna dei depositi lacustro-glaciali appartenenti al sistema del lago d'Iseo, non ci rimane che il gran bacino di Leffe, il più interessante di quegli antichi laghi glaciali. Esso propriamente non deve la sua origine all' immediato sbarramento operato da un ghiacciajo; ma è ugualmente glaciale perchè, come diremo meglio più tardi, veniva determinato dallo sbarramento operato dal detrito fluvio-glaciale, dipendente dal ghiacciajo della Val-Seriana.

Vedete quanto vasto campo di studî ci si apra in una regione così circoscritta. Tutti quei depositi, come sono certamente glaciali, cioè equivalenti al vero terreno glaciale, sono anche più o meno forniti di fossili, e taluno ne è anzi ricchissimo.

Descritto sommariamente il sistema lacustro-glaciale del lago d'Iseo, volendo passare alla descrizione particolare dei singoli depositi, comincêremo da quello

(1) Vedi *Tavola* II.

(2) Vedi sopra a pag. 88.

che, per la certezza dell'origine sua e pei fossili che contiene, ci segna il miglior punto di partenza nella questione di cui ci occupiamo.

3. Antico lago glaciale di Val-Borlezza, o Deposito di Pianico.

Il deposito che riempie il bacino della Val-Borlezza, noto specialmente sotto il nome di *Deposito di Pianico*, è certamente lacustro-glaciale. I fossili che vi si contengono sono, con pari certezza, dell'epoca glaciale. Ho detto che il ghiacciajo della Val-Camonica, insinuandosi nella gola di Castro, sbarrava il torrente Borlezza, sicchè questo convertivasi in lago, il quale riceveva lo scolo del ghiacciajo della Val-Seriana che riempiva il bacino di Clusone. È precisamente il caso che presenta attualmente il sistema dei ghiacciai dell'Oetzthal nel piccolo sistema confluente della Gurglerthal, come può vedere ciascuno confrontando la figura 70 colla carta del *Sistema glaciale del lago d'Iseo.*

Il grande ghiacciajo della valle dell'Oetz (*Grosser Oetzthaler-Gletscher*) alimenta il torrente della valle di Gurgl (*Gurglerthal*), piccolo confluente della Oetz-

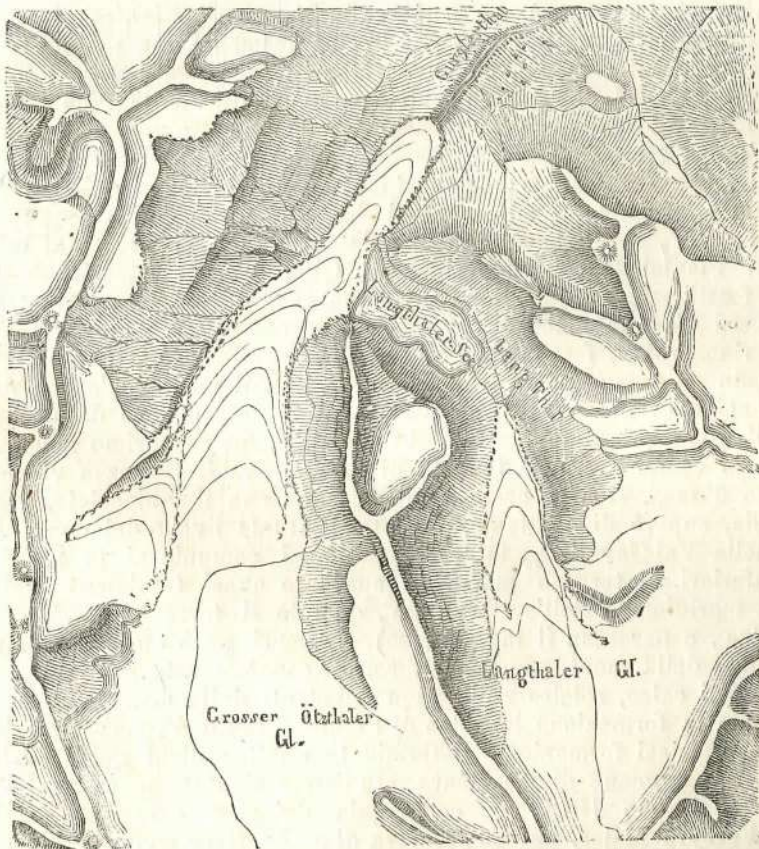



Fig. 70. — Carta dei ghiacciai della Gurglerthal.

thal. Nella discesa lungo la valle viene a sbarrare la laterale Val-Lunga (*Langthal*). Quella barriera è invincibile, perchè il ghiacciajo discende circa un chilometro e mezzo sotto il confluente. Essa ha quindi determinata la formazione di un lago (*Langthalersee*), della lunghezza di un chilometro e mezzo circa, largo

in media più di un mezzo chilometro, che riceve lo scolo di un altro ghiacciajo, cioè del ghiacciajo della stessa Val-Lunga (*Langthaler-Gletscher*).

Il lago di Val-Lunga è dunque la copia fedele dell'antico lago glaciale della Val-Borlezza, dove doveva formarsi un deposito lacustre, capace di grande sviluppo, principalmente per effetto della torbida uscente dal ghiacciajo confluente. Quella valle infatti, prescindendo dai coni di dejezione laterali e dal terreno morenico sovrapposto al ghiacciajo, presenta, come dissi, l'aspetto di un lago prosciugato. Il torrente Borlezza, il quale, per portarsi al livello del lago d'Iseo, dovette spazzare la gola di Castro e incassarsi nel deposito lacustre fino alla profondità di circa 80 metri, mise a nudo una pila enorme di strati orizzontali, marnosi, sabbiosi, argillosi, misti a vero detrito glaciale, che oltrepassa certamente d'assai i 100 metri di spessore. Alla estremità settentrionale del bacino, cioè a Cerete basso, l'erosione del fiume mise a nudo uno strato di lignite torbosa nera, simile a quella che troveremo appena accennata ad Adrara, e sviluppatissima a Leffe.

A quei depositi di forma così volgare si associa un calcare terroso, bianchissimo, puro, in tutto e per tutto somigliante alla creta. Questo calcare riusciva problematico finchè si credeva che componesse da solo il gran deposito di Pianico. Ma non è punto così. La così detta *Marna di Pianico* non si trova che a un certo livello ed entro certi limiti. Forma insomma una parzialità del deposito. Analizzata al microscopio, si trova ricca di organismi; pare infine un vero *tripoli* calcareo, che si deponeva in un seno tranquillo dell'antico lago glaciale, precisamente come i tripoli silicei si deponevano nei tranquilli seni lacustri della Boemia nell'epoca terziaria.

Come il terreno vulcanico, composto di silicati, forniva agli animaletti terziarî di Boemia lo scheletro siliceo; così bisogna dire che le acque, pregne di carbonato di calce, in un bacino tutto calcareo, abbiano fornito ai microscopici lavoratori di Pianico lo scheletro calcareo. Quel calcare organico è anche eminentemente fossilifero, contenendo, oltre a una ricchissima flora terrestre, un buon numero di pesci d'acqua dolce. Ma la più importante reliquia scopertavi è lo scheletro di un rinoceronte, fossile importantissimo, perchè certamente glaciale.

Non credo possa sussistere alcun dubbio circa il modo e l'epoca del riempimento del bacino di Pianico: quell'antico lago fu determinato dallo sbarramento operato dall'antico ghiacciajo della Val-Camonica, fin dal primo momento in cui esso ghiacciajo venne a turare la gola di Castro, ove il Borlezza viene a metter foce nel lago d'Iseo. Il lago crebbe mano mano che il ghiacciajo, gonfiandosi, invase la gola, superò di centinaja di metri l'attuale livello dei depositi lacustri, e buttossi nella Val-Cavallina, intercettando ogni comunicazione tra il Borlezza e le valli inferiori. Il terreno morenico (spazzato quasi totalmente dal Borlezza all'estremità meridionale dell'antico lago, quando il torrente trovò di nuovo la gola di Castro, e per essa il lago d'Iseo) rinviensi però ancora in parte appiccicato al fianco della montagna, sotto forma di conglomerato morenico, cementato dal carbonato di calce, sciolto nelle acque pioventi dalla montagna onninamente calcarea. Infine la formazione lacustre di Pianico è tanto d'epoca glaciale, quanto deve esserlo qualsiasi formazione determinata dagli antichi ghiacciai. Ecco del resto ciò che mi avvenne di verificare studiando ripetutamente quella località, specialmente nell'anno 1872, in compagnia de' miei egregi colleghi Emilio Spreafico e Forsyth Major, cui mi premeva di poter citare come testimonî di fatti così interessanti. Il deposito lacustre di Pianico è ricoperto di terreno glaciale, cioè di pretto detrito morenico, sparso di grossi massi erratici. Alla profondità di pochi metri sotto il terreno morenico trovasi il calcare terroso, bianco, purissimo, a strati regolari e finissimi, con foglie, di cui è ancora conservato il parenchima, pesci e rinoceronti. Questo calcare, che occupa una piccola estensione sotto Pianico, lascia luogo ben tosto a strati argillosi, fangosi, sabbiosi, sparsi sovente di ciottoli e di massi erratici. Discendendo precisamente al pelo attuale del torrente sotto Pianico, cioè alla profondità di 60 o 70 metri entro il deposito lacustre,

veggonsi gli strati farsi più sabbiosi, e vi appajono più numerosi, o isolati, o sparsi, i ciottoli. Al pelo del torrente, quindi alla base visibile della formazione lacustre, i ciottoli si fanno così numerosi, che si direbbe esistervi un gran brano di morena interstratificato. E lo è difatti. I ciottoli sono stupendamente striati, sono glaciali d'origine e di forma. Il rinoceronte di Pianico, sepolto sotto le morene, e giacente 60 o 70 metri sopra il detrito morenico, cioè un terreno glaciale di sopra e di sotto, è dunque compreso nel terreno glaciale: è letteralmente d'epoca glaciale.

Tutte le accennate circostanze ci danno, per sommi capi ma certissima, la storia di quel bacino. Lo sbarramento del torrente Borlezza, che allora scorreva, come adesso, in fondo alla gola profonda, fatta per rappresentare, benchè in miniatura, un *cannone* d'America, convertì, come dicemmo, in lago la valle del Borlezza. Il torrente usciva torbido (come qualsiasi torrente che sbocchi da un ghiacciajo) dal ghiacciajo di Val-Seriana. Quel finissimo limo deponevasi, lento ma continuo, sul fondo del lago, e tendeva a colmarlo. Il ghiacciajo della Val-Camonica lo fiancheggia a mezzodì, sovrincombendo colla sua morena laterale. Chi ha visto un ghiacciajo, troverà naturalissimo, anzi necessario, che massi e ciottoli, e copiosi brani della morena, sdrucciolando, franando, dal pendìo laterale del ghiacciajo si mescolassero, si sprofondassero nel fango lacustre, che conservava intatte quelle finissime strie, colle quali i ghiacciai scrissero, sopra ogni ciottolo ributtato, sopra ogni rupe scavalcata, la storia della loro invasione. Una splendida flora creava quel singolare contrasto di vita e di morte, che rende sì bella l'Engadina, sparsa di fiori, coronata di ghiacciai, ingemmata da quella serie di laghi azzurri, nutriti da glaciali torrenti. I rinoceronti stampavano le loro orme pesanti sulle anguste spiagge. Ma non siamo ancora all'epoca in cui i ghiacciai abbiano attinto il loro massimo sviluppo. — Il ghiacciajo di Val-Camonica continua a gonfiarsi; si dilata nella Val-Borlezza; il lago, ormai colmo dal proprio sedime, sempre più si restringe; la morena si riversa sui depositi lacustri, finchè il ghiacciajo, ritirandosi, lascia quella congerie di massi e di detrito d'ogni forma, che in oggi copre, a guisa di tettoja, quei depositi, i quali conservano i documenti di un'epoca immensa, che corse dal primo istante in cui i ghiacciai furono slanciati dai loro alpini recessi, fino a quell'epoca in cui di nuovo si raccolsero entro i loro modesti confini.

Urge ora sapere qual flora e di qual fauna si tratti. — Sono specie nuove? Ci diranno sempre assai delle condizioni dell'epoca. — Sono specie già raccolte dai paleontologi in altri terreni d' origine diversa? Avremo trovato tanti equivalenti del terreno glaciale, quanti sono i terreni che le contengono. Per sventura, i fossili di Pianico sono quasi tutti da studiarsi. Nessuna specie, nè d'infusorî, nè di pesci, venne determinata.

Quanto alla flora, se ne occupa attualmente il signor Sordelli; ma in genere è composta da specie viventi, come si vede da questa prima lista ch'egli ebbe la gentilezza di comunicarmi:

Magnolia sp
Acer pseudoplatanus L. var. *paucidentata* Sand.
Buxus sempervirens L.
Ulmus campestris L.
Taxus baccata L.
Phacidium buxi Westdp. (parassito sulle foglie del *Buxus sempervirens*).

Per buona sorte, il fossile più importante è con certezza determinato e appartiene a specie già nota. Il rinoceronte di Pianico si credette dapprima il classico *leptorhinus*; ma il sig. Forsyth Major, in seguito ad accuratissimi studî, venne a conchiudere ultimamente che è il *Rhinoceros Merckii* Jaeg, sinonimo del *Rh. hemitoechus* (1). Se ciò è vero, i depositi contenenti il *Rhinoceros Merckii, hemi-*

(1) « Il *Rh. Merckii Auctorum* comprende il *Rh. etruscus* Falc., e il *Rh. emitoechus* Falc.; ma » però queste due ultime specie sono affatto diverse fra loro, ed è merito del Falconer l'averle di-

tocchus, etruscus, sono glaciali. Si badi bene all'asserto, perchè ne dedurremo importanti conclusioni.

4. Antichi laghi glaciali della Val-del-Foresto e della Val-Adrara.

Veniamo ai depositi lacustro-glaciali formatisi alla estremità meridionale del ghiacciajo del lago d'Iseo. Esso ghiacciajo, oltrepassata la gola di Castro, ove partissi per sbarrare il bacino di Pianico e formare il ghiacciajo di Val-Cavallina, si stese nell'ampiezza del lago d'Iseo, pigiato sempre tra verticali pareti, aperte talora per dare sbocco ad alcuni bacini, o valli laterali; valli e bacini che il ghiacciajo ha riempito di morene, edificandovi e lasciandovi quanto di più stupendo può presentare un *apparato glaciale* in una valle priva ora di ghiaccio. Così giunse, ormai stremo, alla estremità meridionale del lago, ove sboccano, con altre valli minori, la Val-del-Foresto, e la lunga Val-Adrara. Se non potè colmarle di detrito morenico, potè tuttavia sbarrarle. La Val-del-Foresto e la Val-Adrara divennero laghi glaciali. Per me, non dubito punto che tra quelle valli sbarrate ed il ghiacciajo del lago d'Iseo si impegnasse quella lotta che vedemmo ai giorni nostri impegnata tra il ghiacciajo del Vernagt e la valle da esso sbarrata. Quel diluvio di massi, sparsi a Palazzolo e assai più a sud, mentre le morene del lago d'Iseo si arrestano assai più a nord e precisamente a Paratico, è un trofeo delle vittorie riportate dalle valli contro il ghiacciajo che ne sbarrava lo sbocco. Ciò che v'ha ad ogni modo di certo, è l'esistenza dei laghi glaciali, di cui restano gli enormi sedimenti. Una bella morena, che si direbbe deposta jeri, sbarra la Val-del-Foresto, salvo la parte ove il torrente s'è già aperto lo scolo. Al piede della morena, verso la valle, eccovi immediatamente poderosi banchi di argille stratificate, zeppi di *Unio* (genere di conchiglie lacustri). Il giuoco si ripete nella Val-Adrara. Una gigantesca morena allo sbocco sembra, anche oggi, sostenere un magnifico terrazzo argilloso; le conchiglie lacustri attestano le origini di quelle argille, e nelle argille stesse si scopersero i preziosi avanzi di un bue.

Merita una più minuta descrizione questa formazione lacustre di Adrara, come si presenta al luogo detto le Fornaci, quasi allo sbocco della valle. Il deposito, roso profondamente da un torrentello, consta inferiormente di una gran massa d'argille a strati fini e regolarissimi. Alla base delle argille si scopre un piccolo letto di lignite torbosa, precisamente uguale a quella che abbiamo trovato a Cerete nel bacino della Val-Borlezza. Le argille sono coperte da un conglomerato, o piuttosto da banchi di ghiaje calcaree, d'origine affatto locale, le quali indicano il lido, ossia il deposito torrenziale che dovette avanzarsi e sovrapporsi agli strati lacustri, mano mano che il lago si riempiva e si restringeva. Il bue scoperto nelle argille di Adrara venne riferito al *Bos primigenius* (1). Il signor Major ritiene quegli avanzi (vertebre ed arti) insufficienti per ora ad assicurare la determinazione della specie: esclude però assolutamente la possibilità che appartengano al *Bos (Bison) priscus* od al *Bos etruscus*. Escluse le suddette due specie, non si saprebbe quale altra possa trovarsi sotto l'orizzonte del *Rhinoceros Merckii*, se non appunto il *Bos primigenius* così comune in Europa nei depositi recenti. La lunghezza di quegli arti risponde del resto assai bene alla descrizione che ne danno gli antichi. Deve infatti sapere il lettore che il *Bos primigenius* non è altro che l'*Urus* dei latini, che fu trovato da Cesare nelle foreste della Gallia, e comparve col bisonte a dare spettacolo di sè negli anfiteatri romani (2).

» stinte pel primo. La denominazione di *Rh. Merckii* Jaeg. poi dovrà essere preferita a quella di *Rh. hemitoechus*, perchè ha su di essa la priorità ». (Major, *Sopra alcuni rinoceronti*, ecc. — *Boll. del R. Comitato geologico*, 1874).

(1) *Note ad un Corso di geologia*, II, § 447.

(2) Il fatto è attestato dai seguenti versi di Seneca:

> Tibi dant variæ pectora tigres,
> Tibi villosi terga bisontes
> Latisque feri cornibus uri.

5. Bacino lignitico di Leffe.

Altro bacino lacustre glaciale è il celebre bacino lignitico di Leffe, il più interessante di tutti, e lo diverrà sempre più, mano mano che se ne studieranno la flora e la fauna.

Il bacino di Leffe merita veramente il nome di bacino, dacchè non è altro che una vasta *culmina* (valle formata per erosione) scavata negli schisti dell'*infralias*, cinta all'ingiro da calcaree infraliasiche e da dolomie triasiche. In origine doveva aprirsi con larga foce, come molte altre culmine infraliasiche, nella Val-Seriana; ma una sbarra le si attraversò. — Era un ghiacciajo? Non precisamente un ghiacciajo, ma ciò che da un ghiacciajo immediatamente dipende. Infatti il ghiacciajo della Val-Seriana, rovesciandosi sulle falde del Pizzo Formico, montagna colossale che divide la Val-Seriana dalla Val-Borlezza, era costretto a dividersi, come qualunque ghiacciajo che incontri un ostacolo per via (1). Gettavasi perciò nella Val-Seriana a destra, e nella Val-Borlezza a sinistra: questa ingombrava colla porzione est della morena frontale, alimentando col suo scolo il bacino di Pianico; quella ingombrava parimenti colla porzione ovest, alimentando il Serio, e fabbricando la stupenda morena detta la Selva, enorme rilievo detritico sparso d'una copia innumerevole di massi enormi, che si leva attualmente tra Clusone e il Serio. Il fiume trovò modo a suo tempo di incidervi il suo letto attuale, dove la morena si appoggiava alle montagne, sorgenti sulla destra della Val-Seriana.

Quando il ghiacciajo era a tal punto, il detrito fluvio-glaciale, sempre così poderoso nella regione che approssima un ghiacciajo, si stendeva da Ponte-di-Nossa fin ben oltre il confluente di Leffe, e doveva levarsi ben alto entro l'angusta gola che corre appunto tra il bacino di Leffe e la morena della Selva. Il bacino di Leffe doveva perciò rimanere sbarrato e convertirsi in lago. — Può dunque una dejezione fluviale sbarrare una valle, e determinare un lago? Per tutta risposta richiamerò il lago di Mezzola, determinato dalle alluvioni dell'Adda (Piano di Colico) che si gettarono come barriera attraverso il braccio settentrionale del lago di Como (2). Se volete poi trovare, nell'epoca odierna, qualche cosa di perfettamente simmetrico al bacino di Leffe, non avete che a porvi innanzi il lago d'Orta, determinato dalla alluvione della Toce, attraversatasi alla valle della Strona, o meglio a quel seno, a fondo cieco, occupato ora dal lago d'Orta, e il lago di Mergozzo determinato dallo sbarramento operato dal delta lacustre della Toce nelle vicinanze d'Intra (3), e quello di Cavazzo ugualmente determinato dallo sbarramento di una gola laterale al Tagliamento, per mezzo dell'alluvione di questo fiume (4). Il Rino, il Re, la Concossola, ecc., erano, per rapporto all'antico lago di Leffe, quello che il Liri, la Strona e gli altri torrenti sono ora per rapporto al lago di Mezzola, d'Orta, ecc. Che poi il detrito fluvio-glaciale del Serio si levasse alto quanto gli attuali depositi che ricolmano il bacino di Leffe, non è che un fatto, di cui restano testimonî i terrazzi e i lembi alluvionali che si trovano appiccicati alle rupi, anche dove la gola tra Ponte-di-Nossa e il bacino è più angusta e spazzata dalle posteriori erosioni.

L'origine del riempimento del bacino di Leffe si rende più che evidente appena si voglia più intimamente studiarne la struttura. Veduto dall'alto, dove scompajono le irregolarità prodotte dalle erosioni, il bacino di Leffe si presenta sotto

e dal testo di Plinio . . . . . *jubatos bisontes* . . . . . *excellentique vi et velocitate uri*. Alcuno pretese che l'Uro vivesse ancora nella Svizzera nel secolo XVI. Al presente non se ne trovano che le reliquie fossili.

(1) Vedi sempre la carta del *Sistema glaciale del lago d'Iseo*, tavola II.

(2) Stoppani, *Corso di geologia*, vol. I, § 254, fig. 20.

(3) Gastaldi, *Scandagli dei laghi del Moncenisio, ecc.*, Torino, 1863, e *Nuove osservazioni sulla origine dei bacini lacustri* (*Atti dell'Acc. di Torino*, marzo 1866).

(4) Taramelli, *Dei terreni morenici ed alluvionali del Friuli*.

forma di un piano concavo, limitato all'ingiro da dirupate montagne. Quel piano, rilevato dovunque all'ingiro, lo è più distintamente verso l'apertura per cui comunica colla valle del Serio. Il rilievo verso quella parte dipinge all' occhio la forma dell' antico cono di dejezione del Serio che lo sbarrava, convertendolo in lago. Se si esamina il conglomerato, disteso alla superficie di quel piano, lo si trova, come dissi, composto di detrito locale, ad elementi piuttosto minuti. Avanzandoci però verso lo sbocco, al detrito locale veggonsi mescolati dei ciottoli, derivanti dall' alta Val-Seriana. Giunti al gran terrazzo, ove si discende d' un salto nella suddetta valle, al detrito locale si è sostituito quello di Val-Seriana, composto di elementi assai grossi, e che accusa indubbiamente il cono di dejezione, che serviva di sponda al lago di Leffe, e mescolava i suoi ciottoli con quelli del lago, che venne più tardi eroso; e rimase in forma di un gran terrazzo, come avvenne di tutte le antiche alluvioni.

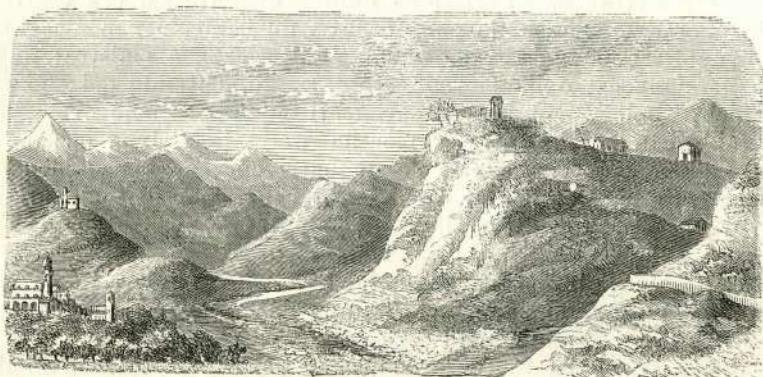



Fig. 71. — Confluente della valle di Gandino al Serio.

La figura 71 mette sott'occhio al lettore il confluente della valle di Gandino ossia del bacino di Leffe, col Serio. Il torrente di Val-Gandino vedesi sbucare alla destra dell'osservatore, al piede di un rilievo quasi verticale, che ha la forma di un terrazzo, il quale va rilevandosi verso l'estremità, dove forma un gradino a picco che fiancheggia il Serio. Quel terrazzo, composto di un conglomerato alluvionale a grossi elementi, presenta il lembo occidentale del riempimento del bacino di Leffe, eroso dai due fiumi confluenti fino alla profondità di forse 100 metri, precisamente sulla linea dove il cono di dejezione del Serio sorgeva come barriera dell' antico lago. Partendo dal punto espresso nella figura e rimontando il torrente di Gandino (cioè internandoci verso il centro dell' antico lago, tra la montagna calcarea e porfirica a destra e il terrazzo alluvionale a sinistra) vedesi bentosto il conglomerato assottigliarsi, ridursi alla superficie, comporsi di elementi locali, e sotto al conglomerato appajono le marne e le ligniti. Qui noi ci troviamo nel mezzo dell'antico lago.

La stratigrafia del bacino di Leffe è conosciuta con maggior precisione di quella degli altri bacini contemporanei, grazie ai pozzi che vi si scavarono per l'estrazione della lignite. In genere ci abbiamo gli stessi elementi litologici presentati dai bacini di Pianico e di Adrara, cioè letti argillosi e marnosi, alternanti con ligniti, e coperti da un conglomerato d'origine locale. Anche qui infatti uno strato considerevole di conglomerato, composto di ciottoli derivanti dalle montagne circostanti, forma il soprassuolo del bacino. Si vede evidentemente come quel bacino colmossi a poco a poco; come le ghiaje torrenziali, le quali dapprima incorniciavano il lago, in mezzo al quale deponevansi le argille, lo invasero a poco a poco, coprirono le argille e le ligniti, colmarono il lago, finchè il lago stesso non divenne che un piano alluvionale, che si continuava colle alluvioni del Serio. I torrenti erosero più tardi la formazione lacustre, come avvenne dovunque, rile-

vandone la tessitura fino a una certa profondità. Ove non giunse l'erosione, pervennero i pozzi, non tanto però che noi possiamo rallegrarci di conoscere più della parte superficiale della formazione. I pozzi furono aperti entro le depressioni prodotte dall' erosione, quindi alla base del conglomerato ed anche più basso, in seno ai depositi marnosi, d'indole prettamente lacustre.

All' Esposizione di Firenze 1861 la ditta Biraghi e Comp. presentò la successione degli strati componenti la formazione lignitica di Leffe, inferiormente al conglomerato, ottenuta con un pozzo di circa 58 metri.

1^m	Terra vegetale.
2^m	Ghiaja.
3^m 50	Argilla plastica.
10^m	Argilla refrattaria conchifera.
1^m	Lignite impura.
20^m	Argilla conchifera come sopra.
2^m	Argilla bianca.
9^m 50	Lignite del banco-maestro.
3^m	Argilla nera conchifera.

Questa sezione ci mostra come il riempimento del bacino di Leffe, sotto il conglomerato e le ghiaje, consti di una alternanza di argille conchifere e di ligniti. Le argille non meritano in genere questo nome che in senso molto largo. Spesso divengono sabbiose, terrose, e meglio si direbbero fanghi lacustri. La quantità di conchiglie d'acqua dolce che esse contengono è tale, alcuna volta, che meriterebbero piuttosto il nome di marne calcaree.

La formazione attuale, a cui si possono meglio paragonare quei fanghi è quella delle marne bianche, cineree, nere, ricche di conchiglie che formano il sottostrato delle nostre torbiere. Quanto alle ligniti sarebbero meglio definite quando si chiamassero torbe legnose: sono di color nero, schistose, talvolta distintamente legnose, con molti avanzi di rami e di frutti, specialmente noci. La porzione superficiale del così detto banco-maestro trovasi talvolta constare d'un intreccio di tronchi affatto legnosi, che sembrano rappresentare una foresta atterrata. Io per me sono d'avviso infatti che quel legname non è punto legname fluitato e deposto in seno al lago. Come poteva esserlo, se tutte le montagne all'ingiro sono rocciose e d'una nudità desolante? Io penso che il piano lacustre siasi trovato talvolta, o in tutto, o sopra una data porzione, converso in piano paludoso, ove le foreste di noci (parlo della essenza principale) poterono addensarsi, forse per secoli, finchè vennero sommerse dalle acque, che dovettero alzarsi mano mano che si alzava il cono di dejezione, il quale sbarrava il bacino. Saremmo precisamente nel caso dei laghi attuali della Luigiana che fiancheggiano il fiume Rosso. Quei laghi, secondo Darby, si sarebbero formati precisamente come formossi l'antico lago di Leffe, secondo il nostro avviso, cioè pel rialzamento del letto alluvionale del fiume Rosso, che sbarrando i confluenti, li costrinse a traboccare, convertendo in laghi grandi porzioni del paese circostante. Il più grande di quei laghi così formati è il Bistineau, il quale, con una lunghezza di 30 miglia inglesi, non ha che una profondità di 15 a 20 piedi. Lyell riporta che, dove il lago è più profondo, veggonsi sorgere dal fondo innumerevoli cipressi d'ogni dimensione, morti, ma ancor ritti. Ecco una foresta sommersa al modo stesso delle foreste di Leffe e destinata ugualmente a convertirsi in torba (1).

Comunque la cosa sia avvenuta, credo non si possa mettere in dubbio che il bacino di Leffe sia d'origine glaciale, nel senso che la sua formazione venne determinata dal cono di dejezione fluvio-glaciale, formato dal torrente che usciva dall' antico ghiacciajo della Val-Seriana, le cui morene troviamo qualche chilometro in su, appunto ove cessa l' antica alluvione, o piuttosto ove essa si fonde col terreno erratico.

(1) Bischoff, *Lehrb.*, I, pag. 307.

Interroghiamo ora la paleontologia di quell'interessante bacino. Una prima lista di piante, favoritami ugualmente dal sig. Sordelli, mostra che anche qui, come ad Adrara, trattasi di una flora, in genere, vivente.

Trapa natans L.
Juglans bergomensis Bals. (*J. tephrodes* Ung. *J. Goepperti* Ludwig.)
Castanea vulgaris Lk. (*C. Tattii* e *C. Maironii* Massal.)
Corylus avellana L. var. a frutto ovato.
Abies excelsa DC. (*Pinus abies* L.)
Folliculites neuwirthianus Massal.

Quanto alle conchiglie, i nostri primi geologi vollero ravvisarvi le specie ancora viventi in Lombardia (1). L'abate Stabile invece le sostiene assolutamente estranee all'attuale malacologia lombarda, e forse estinte.

I migliori studî furono eseguiti sui vertebrati, di cui quel bacino è ricchissimo. Le tartarughe che vi si scoprono si riferiscono indubbiamente, secondo il sig. Sordelli, alla specie comune dei nostri stagni (*Emys europaea* Schn.). Quanto ai mammiferi, le specie determinate finora non sono molte, ma sono tali che il bacino di Leffe va, per mio avviso, considerato come il migliore orizzonte della paleontologia glaciale. Eccone la lista offertami dal sig. Major in seguito agli studî più accurati:

Elephas meridionalis Nestí.
Rhinoceros leptorhinus Cuv.
Bos etruscus Falc.
Cervus due specie.
Castor europaeus?
Arvicola sp. (non *agrestis*).

L'*Elephas meridionalis* ed il *Rhinoceros leptorhinus* sono specie così diffuse in Europa, che bastano da sole a guidarci nella ricerca degli equivalenti. Il Museo di Milano possiede le due zanne, la mascella inferiore, il piede, denti e porzione delle coste e degli arti di un colossale elefante della specie suddetta, oltre a parecchi avanzi d'altri individui. Un cranio conservatissimo di un piccolo individuo della stessa specie appartiene al gabinetto dell'Istituto Tecnico di Bergamo. Nello stesso gabinetto vennero collocati recentemente resti abbondanti di un altro individuo. Del *Rhinoceros leptorhinus* si posseggono diverse mascelle a Milano ed a Bergamo. L'elefante di Bergamo fu scopertò nel banco-maestro; quello di Milano giaceva alla superficie dello stesso banco, il quale, come l'unico scavato, è quello che diede la quasi totalità dei fossili che si trovano nelle collezioni, compresi i rinoceronti. Però alcuni avanzi di elefante, nominatamente la punta di zanna ed un grosso molare, furono scoperti alla superficie del bacino, precisamente nel terriccio, indizio certo che l'elefante di Leffe continuò a vivere fino al totale riempimento del bacino.

Del *Bos etruscus* si possedono diverse mascelle conservatissime, che non lasciano alcun dubbio circa l'esattezza della determinazione. Anche questa è specie molto diffusa, quindi opportunissima a stabilire un orizzonte geologico. Quanto al castoro, il sig. Major si lasciò forse troppo dominare da quello scrupolo, che rende così degne di fede le sue determinazioni. È noto come i paleontologi non seppero trovare alcun carattere abbastanza marcato per distinguere il *Castor fiber* del Canadà dal castoro d'Europa (*C. Europaeus*), specie quasi estinta, i cui ultimi rampolli sono acquartierati sulle rive del Danubio in Baviera ed in Austria, sul Gardone e sul Rodano in Francia, e sui piccoli fiumi della Vestfalia. Al modo stesso non si saprebbe distinguere il castoro fossile di Leffe dal castoro vivente di Europa.

(1) Io per me credo che le più comuni, formanti talvolta interi straterelli nelle sabbie fangose che stanno tra i letti di lignite, siano da riferirsi alla *Valvata piscinalis* Müll. ed al *Planorbis complanatus* L.

Abbiamo descritto, non un deposito, ma un'intera regione glaciale. I fatti addotti credo non lasceranno alcun dubbio nel lettore che i depositi lacustri descritti, determinati dallo sbarramento operato dagli antichi ghiacciai o dagli antichi coni di dejezione glaciale, non siano essi pure glaciali e glaciali i fossili che vi si contengono. Eccoci dunque assicurato il possesso di una piccola fauna glaciale, che ci promette quello di una paleontologia glaciale. Considerando come specie ancora dubbiose il *Castor Europaeus*, e il *Bos primigenius*, le quali non possono nemmeno avere un deciso valore paleontologico, perchè vivente l'una, ed estinta l'altra da poco; ci restano quattro buone specie, i cui avanzi non si trovarono mai associati nemmeno alle più antiche reliquie dell'uomo, e sono certamente, essenzialmente, glaciali.

Queste specie sono:

Rhinoceros Merckii Jaeg (*Rh. hemitoecus* Falc.).
Rhinoceros leptorhinus Cuv.
Elephas meridionalis Nesti.
Bos etruscus Falc (1).

Passando altrove alla ricerca degli equivalenti glaciali, dovremo certamente urtare contro pregiudizî inveterati; dovremo comprendervi terreni ben diversamente classati dagli autori. Basti il dire che i nostri due prototipi glaciali, l'*El. meridionalis* e il *Rh. leptorhinus*, sono universalmente ritenuti quali prototipi pliocenici. Inviteremo tuttavia i geologi a riflettere bene agli argomenti sui quali abbiamo stabilito l'equivalenza glaciale del gruppo di terreni lacustri nei dintorni del lago d'Iseo. Non si dimentichi mai che la paleontologia è succursale alla geologia: che le specie non servono a determinare l'epoca di un terreno se non quando una parte del terreno che le contiene fu trovata, con indubbî argomenti di altro ordine, appartenere a quella data epoca, trovarsi a quel tale livello. I depositi lacustri, che noi abbiam detto glaciali, sono glaciali perchè figliati indirettamente da ghiacciai, che generarono direttamente il terreno glaciale. Siano quel che si vogliano la flora e la fauna, e le deduzioni che i paleontologi potessero derivarne; quei depositi, quei fossili, rimarranno sempre glaciali, e saranno quindi glaciali i depositi tutti, qualunque ne sia l'origine, che contengono quei fossili, precisamente per la stessa ragione che diciamo carboniferi i terreni di qualunque origine che contengono fossili carboniferi.

È indubitato che sugli opposti versanti delle Alpi, nella Germania e nella Svizzera dovranno trovarsi depositi lacustri determinati dagli sbarramenti operati dai ghiacciai. Ad uno di questi ritengo appartenere la lignite, ossia i così detti *carboni fogliettati* sui versanti settentrionali delle Alpi, nella Svizzera. Benchè in quest'opera non ci siamo proposti che di parlare di ciò che si riferisce all'Italia, credo opportuna una breve digressione sui bacini lignitici della Svizzera, trovando tale somiglianza di condizioni tra essi e i nostri bacini di Pianico e di Leffe, che mi pare ne guadagnino assai le prove addotte per stabilire l'epoca e il valore della fauna dei nostri bacini suddetti. Il così detto *charbon feuilleté* si scava anzitutto a Dürnten, sui confini meridionali del cantone di Zurigo, e ad Oberberg, ove la lignite, alternante però con straterelli di argilla, raggiunge fin 12 piedi di spessore, e ad Unterwetzikon. Il più importante deposito però è quello di Utznach, nel cantone di S. Gallo. Alle citate località, appartenenti al bacino del lago di Zurigo, va aggiunta quella di Mòrschweil nel bacino del lago di Costanza. Le condizioni di quei depositi lignitiferi, egregiamente descritti da Heer nella sua opera *Le monde primitif de la Suisse,* non ci lasciano alcun dubbio sulla perfetta equivalenza di essi alle nostre ligniti di Leffe, e in genere ai depositi che riempiono i nostri bacini di Gandino, di Pianico, di Val-Adrara. Trattasi anzitutto

(1) Il *Bos etruscus* Falc. è sinonimo del *B. bombifrons* Nesti della Val d'Arno, secondo Falconer, del *B. stenometopon* A. Sism. dell'Astigiano, secondo Falconer e Rütimeyer, del *B. elatus* Gerv. dell'Alvernia, secondo Major.

anche qui di antiche formazioni torbose, come le giudica Heer. Le piante, che si rizzano ancora verticalmente a Mörschweil, dimostrano ciò che abbiamo asserito, parlando del bacino di Gandino (1): che, cioè, il legname, convertito in lignite torbosa, non venne fluitato, ma crebbe in sito. Il nome di *charbon feuilleté* dice abbastanza che la lignite di questo nome è identica per natura a quelle di Leffe. Anche le ligniti svizzere furono deposte in un bacino lacustre. Quelle di Dürnten, di Oberberg, di Unterwetzikon e di Utznach appartengono ad un solo bacino. Esse rappresentano, secondo Heer, le spiaggie paludose, o torbose, che cingevano un lago molto profondo, il quale occupava la valle da Wangen a Grinau, ed era, con tutta probabilità, determinato dallo sbarramento delle due gole, che danno scolo alle acque attualmente. Così furono precisamente originati i nostri laghi glaciali di Adrara, di Pianicò, di Gandino. Trovandosi nel cuore della zona del terreno glaciale, appartenente all'antico ghiacciajo del Reno, i geologi svizzeri ci diranno se il bacino di Dürnten e Utznach fu sbarrato immediatamente dal ghiacciajo, come quello di Pianico, o da un cono di dejezione glaciale, come quello di Gandino.

Anche le condizioni stratigrafiche dei depositi svizzeri li fanno equivalenti ai lombardi. Risultano infatti di strati torbosi, alternanti con strati detritici, con intercalamenti (precisamente come a Pianico) di terreno glaciale, il quale ricopre poi definitivamente i depositi lacustri. Ecco, per Dürnten, lo spaccato discendente:

1. Massi erratici alla superficie.
2. Ciottoli arrotolati e sabbie.
3. Piccolo strato di lignite.
4. Argilla.
5. Potente letto di ciottoli.
6. Lignite (banco maestro).
7. Sabbia.

In questo spaccato non si nota il terreno glaciale intercalato ai depositi lacustri o fluviali. Ma a Unterwetzikon gli strati lignitici riposano sull'argilla, e al disotto di questa compare il terreno glaciale, coi ciottoli striati, come a Pianico, e tra essi un masso di 6 piedi di diametro. Nel deposito di Mörschweil i massi erratici si trovano a diversi livelli.

Se rimanesse qualche dubbio sulla perfetta equivalenza dei depositi lignitici descritti sugli opposti versanti delle Alpi, la paleontologia verrebbe a dissiparlo. La flora dei bacini svizzeri è, come quella dei lombardi, quasi senza eccezione, una flora vivente. Nel *charbon feuilleté* sono indicati da Heer l'*Acer pseudoplatanus* L. e il *Taxus baccata*, da noi trovati nel bacino di Pianico (§ 1209) la *Trapa natans* L. (citata come incerta) e il *Corylus avellana* L. del bacino di Gandino, oltre ai viventi *Pinus abies* L., *P. silvestris* L., *P. montana* Mill., *P. larix* L., *Quercus robur* L., *Betula alba* L.

La fauna ci offre conchiglie lacustri di specie viventi ed insetti di specie estinte. Non ci avremmo però nulla di ben caratteristico dell'epoca, se non fossero i mammiferi. Ci troviamo tra questi il *Rhinoceros etruscus* Falc., che vedemmo citarsi come sinonimo del *R. Merkii* Jaeger dei bacini di Pianico e di Gandino, il *Bos primigenius* Boj., specie che appartiene assai probabilmente al bacino d'Adrara e l'*Ursus spelæus* Blum., cui dimostreremo indubbiamente glaciale più sotto, parlando delle nostre caverne ossifere.

(1) *Corso di geologia*, II, § 1218.

XIII.

TERRENI EQUIVALENTI, OSSIA CONTEMPORANEI DEI TERRENI GLACIALI IN ITALIA

1. Ossario della Val d'Arno superiore.

Nel Capitolo precedente abbiamo descritto, in base ad argomenti strettamente geologici e indipendentemente dalla paleontologia, quei depositi che, dopo le morene e gli anfiteatri morenici terrestri, littorali o marini, venivano direttamente a collocarsi fra i terreni di pretta origine glaciale; chè così chiamiamo i depositi lacustro-glaciali, come quelli la cui formazione venne direttamente determinata ed effettuata dallo sviluppo degli antichi ghiacciai, in quanto hanno sbarrati e incrociati i seni e le valli laterali alle grandi vallate da loro percorse. Questi depositi ci hanno intanto offerto una flora e meglio ancora una fauna, la quale, benchè poco numerosa, è molto distinta, molto caratteristica, tale insomma che ci può guidare con sicura traccia, come abbiam detto, alla ricerca degli *equivalenti*. Intendiamo, ripeto, *per equivalenti*, quei terreni i quali, benchè non possano trovarsi in rapporto diretto cogli antichi ghiacciai, e benchè formatisi indipendentemente e lontano da essi, pure debbono chiamarsi glaciali perchè deposti nello stesso periodo, e costituenti col terreno glaciale propriamente detto una stessa formazione, od uno stesso gruppo di formazioni, da cui è rappresentata in Italia l'epoca glaciale.

Primo tra gli equivalenti del terreno glaciale si presenta il celebre ossario della Val d'Arno superiore, ritenuto ordinariamente come terziario. È noto come la Val d'Arno superiore si presenti all'occhio del geologo in forma di vasto bacino, occupato già da un antico lago, che creovvi una enorme formazione lacustre, la quale consta, al solito, di sabbia, di marne, di argille, di ligniti fra loro alternanti. Ora il fondo della Val d'Arno presenta la forma di un vasto altipiano, profondamente solcato in tutti i sensi da un labirinto di valli, per cui la formazione lacustre offre a mille a mille gli spaccati naturali. Per la stessa ragione si raccolsero a migliaja le reliquie dei grandi mammiferi, a cui la Val d'Arno deve specialmente la sua geologica celebrità. Il signor Spreafico, il quale ebbe occasione di studiarla, non dubitò di affermare che la Val d'Arno superiore non è altro che il bacino di Leffe a grande scala. Molti autori hanno scritto dei fossili di quella formazione; ma non permettendo i limiti di quest'opera di riportare e di discutere i diversi risultati e le diverse opinioni, mi accontenterò di riportare la lista dei vertebrati che vi si rinvennero, comunicatami dal signor Major, come

risultato de' suoi studî sugli autori e sui pezzi originali (1). La seguente lista ci presta però ad esuberanza gli argomenti per conchiudere nella questione che ci occupa.

Macacus florentinus Cocc.
" *ausonius* Major.
Felis 3 sp.
Canis etruscus Maj.
" *Falconeri* Maj.
Ursus etruscus Cuv.
Mustela sp.
Hyaena Perrieri Cr. et Job.
" *arvernensis* Cr. et Job.
Machairodus 3 sp.
Equus stenonis Cocc.
Hippopotamus major Cuv.
Mastodon arvernensis Cr. et Job.
Elephas meridionalis Nesti.
Rhinoceros etruscus Falc.
Sus Strozzi Meneg.
Bos etruscus Falc.
Cervus dicranius Nesti.
" *ctenoides* Nesti.
" 2 sp.
Castor plicidens Major.
" *Rosinæ* Major.
Hystrix sp.
Lepus sp.

Dalla ispezione di questa lista appare evidentemente che bisogna distinguere nella Val d'Arno due orizzonti almeno: un orizzonte inferiore, segnato dal *Mastodon arvernensis*, e un orizzonte superiore, indicato da quelli che io chiamo prototipi glaciali, che qui trovansi riuniti, insieme a una moltitudine di altre specie. In questo ci trovammo perfettamente d'accordo io e il sig. Major, quando pubblicai il mio *Corso di geologia* (2). Il *Mastodon arvernensis* sarebbe pliocenico, come quello che appartiene a depositi che sono, con tutta probabilità, più antichi del terreno glaciale: per cui nelle località dove questa specie si trova indicata in un terreno che deve altrimenti ritenersi come equivalente del glaciale, bisogna dire che in esso terreno vi siano, come nella Val d'Arno, due orizzonti (3).

Bisognerebbe ora ben definire la stratigrafia della Val d'Arno, nei rapporti coi rispettivi fossili, per potervi precisare i diversi orizzonti. Quello che è certo però è questo, che il grande *ossario* della Val d'Arno superiore, cioè le argille, le sabbie, da cui si svolgono in sì gran copia gli ossami, e che costituiscono la porzione superiore della formazione, cioè l'immediato sottosuolo della Val d'Arno, appartengono all'epoca glaciale, contenendo i fossili più caratteristici del terreno glaciale? — *Elephas meridionalis, R. Etruscus* e *Bos etruscus*, trovati il primo e il terzo nel deposito di Leffe, e il secondo in quello di Pianico strettamente glaciali.

Il signor Major, mentre cerca inutilmente di stabilire un po' d'ordine tra gli orizzonti a cui possono riferirsi i fossili della Val d'Arno inferiore e superiore (4), non sa proprio persuadersi che il celebre ossario appartenga, come io sostenni nel mio *Corso di geologia*, all'epoca glaciale.

(1) La lista dei fossili della Val d'Arno superiore che mi fu data dal sig. Major all'epoca in cui fu pubblicato il 2.° volume del mio *Corso di geologia*, dove venne inserita a pagina 673, si presenta ora completata e corretta in base alle recentissime Memorie pubblicate dallo stesso Forsyth Major l'una *Sul livello geologico del terreno in cui fu trovato il così detto cranio dell'Olmo* (1876), e l'altra *Considerazioni sulla fauna dei mammiferi pliocenici e post-pliocenici della Toscana* (Pisa, 1877).

(2) *Corso di geologia*, vol. II, pag. 673.

(3) Il *Mastodon arvernensis*, secondo un catalogo inedito di Major, si trova in Francia, nelle sabbie marine di Montpellier, nell'Alvernia e nel Vélay nelle alluvioni sottovulcaniche inferiori, nelle alluvioni antiche della Bresse, ecc.: in Inghilterra, nel crag di Suffolk e di Norwich: in Italia, nell'Astigiano, nella Val d'Arno inferiore e superiore, nella provincia di Roma: in Germania, nel bacino di Vienna: nella Russia meridionale, sulla punta di Taman, al piede del Caucaso, secondo Lartet, che riferisce alla stessa specie il *M. intermedius* Eichwald, trovato in Volinia. Trattasi insomma di depositi riferiti comunemente al miocene superiore, ma che io nel mio *Corso di geologia* (Vol. II. Cap. XXV) dimostrai doversi ascrivere al vero pliocene, che antecede immediatamente l'epoca glaciale.

(4) Chi legge la memoria del sig. Major, mentre è obbligato di rendere lode al mio illustre amico dell'improba fatica sostenuta nel raccogliere e coordinare come si potevano le notizie e le apprezzazioni di quanti scrissero finora sulla Val d'Arno, rimane nella dolorosa convinzione che, anche dopo le proposte dello Strozzi, del Cocchi ecc., intese a fissare la stratigrafia di quella località, uno che voglia presentare qualche cosa di attendibile farà bene a ricominciare da capo collo studio sui luoghi.

Pare anzi tutto che voglia farmi un'obbiezione di ciò che i fossili provenienti dalla Val d'Arno superiore indicano almeno due orizzonti. In questo eravamo già benissimo d'accordo, come ho detto, e lo siamo ancora. Aggiungerò anzi che il Major porta molta luce a questa questione mettendo fuori di dubbio l'esistenza nel Piacentino, in più luoghi della Toscana e nella stessa Val d'Arno di una fauna anteriore a quella del celebre ossario, caratterizzata specialmente dal *Mastodon arvernensis,* e avente molta analogia, anzi una probabilissima equivalenza alle faune di Pikermi, di Eppelsheim, ecc., che io ho messe nel pliocene, e che appunto precederebbero la fauna glaciale dell'ossario della Val d'Arno superiore, come questa precede la fauna postglaciale di Arezzo, ch'io riferisco al periodo dei terrazzi, come vedremo (1).

Ma è appunto da questa fauna, più recente di quella della Val d'Arno superiore, che il sig. Major vorrebbe farne il più forte argomento contro la mia tesi. Esiste infatti nella Val di Chiana, in vicinanza d'Arezzo, un altro ossario, affatto distinto e indubbiamente più recente di quello della Val d'Arno superiore. Vi si trovano, secondo il Falconer, *Elephas primigenius* (Mammouth), *Bos primigenius* (Uro), *Bison priscus* (Bisonte), *Cervus euryceros;* insomma, dice lo stesso Falconer, non ci manca che il *Rhinoceros tichorhinus* per dire che la fauna d'Arezzo presenta tutti i tipi dei grandi ungulati che accompagnano il mammouth, nel nord dell'Europa, prima della sua estinzione. Il sig. Major adunque, non volendo ammettere che la fauna di Leffe sia glaciale, ritenendola invece pliocenica, come nessun lasso di tempo fosse corso tra il periodo degli anfiteatri morenici e l'epoca attuale o antropozoica, mi domanda: « A quale epoca dovrebbero riferirsi questi » mammiferi (i postpliocenici) delle caverne, delle brecce ossifere, delle alluvioni » del Po ecc., delle torbiere, ed alluvioni torrenziali dei dintorni d'Arezzo.... trat- » tandosi qui d'una fauna differentissima da quella che io chiamo glaciale? » Rispondo al sig. Major, che se nelle faune a cui egli allude non sono comprese le specie glaciali di Leffe (*Elephas meridionalis, Rhinoceros leptorhinus, Bos etruscus*), esse si collocheranno dove meglio convenga. Quanto alla fauna d'Arezzo, la sola che è individuata nella rassegna del sig. Major, dove non si contiene nessuna specie di Leffe, che è caratterizzata dalla presenza del Mammouth, mi sono già spiegato abbastanza da diversi anni, quando stabilii, come era già stato stabilito da altri, *un periodo dei terrazzi* intermedio tra il periodo glaciale e l'epoca attuale o antropozoica (2). Naturalmente, a questo periodo dei terrazzi deve corrispondere una fauna, ed ecco trovato il posto in cui collocare la fauna d'Arezzo, e tutti i fossili, da qualunque deposito provengano, si trovano colle reliquie dei grandi ungulati i quali, come dice il Falconer, accompagnarono il mammouth nel nord dell'Europa prima della sua estinzione. Anzi è questo precisamente che io aveva già detto chiaramente nel *Corso* citato, dove si legge così: « I prin- » cipali rappresentanti di questa fauna, che contraddistingue, secondo me, il » vero periodo dei terrazzi e i terreni equivalenti, sono l'*Elephas primigenius* » (il celebre mammouth) e il *Rhinoceros tichorhinus.* Ma per stabilire tutto que- » sto, bisogna premettere le indagini sulle prime origini dell'uomo, le quali si » radicano, per dir così, nel periodo dei terrazzi, in guisa che questo non si » può delimitare, se prima non è fissata l'epoca relativa della comparsa di » quello. (3) »

Il sig. Major non vuol intendere questa cosa semplicissima: che io dissi e continuerò a dire glaciale la fauna di Leffe, non perchè l'abbia trovata corrispondere ad una piuttosto che ad un'altra fauna ritenuta glaciale, ma perchè inclusa

(1) Il sig. Major (*Sul livello geologico del terreno in cui fu trovato il così detto cranio dell'Olmo*) cita tra i fossili disotterrati dagli strati superiori dell'altipiano d'Arezzo le seguenti specie: — *Cervus euryceros, Bos primigenius, Bison priscus, Elephas primigenius* (Mammouth), *Elephas ausonius, Rhinoceros hemitoechus, Canis lupus, Hyaena crocuta var. spelaea, Equus caballus, Cervus elephas, Castor fiber.* Le prime sei specie estinte, le altre ancora viventi.

(2) *Corso di geologia,* vol. II, § XXX.

(3) *Ib.* pag. 730. — Ripeteva poi ad un dipresso le stesse cose a pag. 765.

in un terreno dell'epoca glaciale, la cui formazione fu determinata dagli stessi ghiacciai. Ho anzi la pretesa di essere stato il primo a metter giù, dirò, le prime pietre della paleontologia glaciale, mentre non trovo che all'epoca in cui scrissi il mio *Corso* una fauna glaciale fosse da alcuno stabilita e riconosciuta. Si può fare quel conto che si vuole delle mie osservazioni e delle mie pretese; ma finchè si ostineranno i geologi a stabilire quali sieno le faune pre-glaciale, glaciale e postglaciale, senza considerare gl'immediati rapporti tra le reliquie fossili e i terreni di pretta origine glaciale, fuori e lontano dai luoghi occupati dagli antichi ghiacciai, non faranno che una Babele. Ed è appunto per aver trovato questa Babele, che nel mio *Corso di geologia*, lasciando da parte ogni altra considerazione, per stabilire una fauna glaciale terrestre, ho pigliato le mosse dai fossili che si contengono nei depositi indubbiamente glaciali di Leffe, di Pianico, del Buco dell'Orso; come avrei pigliato le mosse dai fossili marini, contenuti nelle morene littorali o sottomarine di Como e d'Ivrea, se quei fossili fossero stati conosciuti a quel tempo. È per questa via soltanto che io arrivai a comprendere l'ossario della Val d'Arno superiore negli equivalenti del terreno glaciale.

Infatti, soppresso il *Rhinoceros leptorhinus*, che era stato compreso nella prima lista dei fossili della Val d'Arno superiore, comunicatami allora dallo stesso signor Major, restano ancora per lo meno l'*Elephas meridionalis* e il *Bos etruscus*. È certo che la prima di queste specie si trova nella Val d'Arno superiore coi fossili componenti il celebre ossario. Lo affermano tutti, dal Nesti, che ha fondata la specie al Major che ne ha studiata la diffusione. A Leffe pure esiste, e vi è abbondantissimo, caratterizzatissimo, come lo attestano i Musei di Milano e di Bergamo. Lo stesso dicasi del *Bos etruscus*. Dunque c'è quanto basta per ritenere contemporanee le faune delle due località; e siccome glaciali sono i fossili di Leffe, parimenti glaciale dev'essere l'ossario della Val d'Arno superiore. Gli avanzi dell'*Elephas meridionalis* e dell'*etruscus*, scoperti a Leffe in tanta abbondanza, non sono certamente di quelli che il sig. Major dice troppo frammentarî per permetterne una determinazione rigorosa, nè di quelli che si conservano nel Museo di Milano, come di Leffe, ma che hanno certamente, come dice lo stesso sig. Major, origine diversa. (1)

Ma il sig. Major ripiglia: l'*Elephas meridionalis*, con specie quaternarie ed anche viventi, fu trovato nel Forest-bed di Norvolk e Sussolk: ma essendo il Forest-bed preglaciale perchè sottoposto al Boudel-clay, egli è costretto a combattere la mia opinione, che sieno glaciali i depositi di Leffe e della Val d'Arno superiore. — Ciò vuol dire che il sig. Major dà più valore alle osservazioni degli Inglesi, che ritengono preglaciale il Forest-bed, che alle mie, che ritengo glaciale il deposito di Leffe. È questione di gusto. Si è poi studiato il Forest-bed come lo furono i depositi di Pianico e di Leffe, ed in condizioni ugualmente favorevoli? Il sig. Major ha visitato con me il deposito di Pianico, e deve ricordarsi che il *Rhinhoceros Merkii* di quella località ha il terreno morenico di sotto, e lo stesso terreno di sopra. Quel rinoceronte sarà dunque postglaciale e preglaciale ad un tempo?

Del resto, bisogna ricordare che qui c'è di mezzo una gran questione di massima. Nel mio *Corso di geologia* io ho trattato fondamentalmente la questione del valore stratigrafico della serie terziaria e posterziaria stabilita comunemente dai geologi, e degli equivalenti attribuiti ai diversi terreni tipici (2). Molti depositi collocati nel miocene superiore, ho dimostrato doversi riferire al pliocene, e nomi-

(1) Essendo stato tanti anni al Museo di Milano credo di poter assicurare che nessuno ha mai posto in dubbio la provenienza dei fossili indicati come appartenenti alle ligniti di Leffe, se ne eccettua uno il quale fu messo tra i fossili di Leffe certamente per sbaglio avvenuto o per mancanza di indicazioni, o per scambio di scritta. Ma i fossili raccolti da vari geologi nei primi anni del Museo, e quelli, costituenti una magnifica collezione, che furono raccolti in questi ultimi anni, e della cui provenienza possono far fede, oltre a me stesso, i signori Cornalia, Spreafico, Barazzetti e molti altri di Milano e di Bergamo, sono sicuramente di Leffe.

(1) *Corso di Geologia*, vol. II, cap. XXV.

natamente alcuni celebri ossarî, nominatamente quelli di Pikermi e di Eppelsheim. Molti depositi attribuiti al pliocene, e fra gli altri il tipico pliocene superiore dell' Apennino (*sabbie gialle*, argille superiori, ecc.) ho dimostrato doversi riferire al glaciale, come lo mostrerò nel seguito di questo scritto con nuovi e più sicuri argomenti. Io ho dunque in certo senso rialzato d'un gradino la scala dei terreni terziarî; per dir meglio, ho dimostrato che il terreno glaciale, considerato come piano superiore al pliocene, comprendendo in questo il pliocene superiore tipico dell'Apennino, non esiste; è come direbbesi un gradino di più, perchè pliocene superiore apenninico e terreno glaciale sono, quanto a valore stratigrafico, la stessa e medesima cosa. Se così è, capirà il sig. Major che noi diciamo la medesima cosa quand'egli afferma che la fauna della Val d'Arno superiore è pliocenica, e quando io asserisco che è glaciale. È su questa base che bisogna combattermi, altrimenti sarà impossibile intenderci.

2. Alluvioni antiche dell'epoca glaciale.

Dove siamo più sicuri di trovare estesi equivalenti del terreno glaciale è nelle alluvioni antiche che formano le pianure italiane per tanta parte, e nominatamente la grande pianura del Po. Mentre gli antichi ghiacciai della Lombardia e del Piemonte trascinavano giù fino al mare le loro morene; mille torrenti dalle Alpi e dagli Apennini, anche quelli che uscivano dai ghiacciai che non giungevano al mare, portarono al mare stesso le loro torbide, ajutando a colmare il gran golfo Adriatico ed a convertirlo successivamente in pianura. Le nostre antiche alluvioni rimontano anzi, per una parte, all'epoca pliocenica, alla quale abbiamo ascritto i ceppi lombardi, e vi si dovranno ascrivere molti altri ammassi alluvionali che formarono in quell'epoca grandi coni di dejezione. Questo lavoro continuò naturalmente, anzi crebbe nell'epoca glaciale. Ci vorrà un anno perchè un ciottolo, che si trova a dieci metri di distanza dalla fronte di un ghiacciajo, venga ad accrescere il volume della morena; ma dallo stesso ghiacciajo esce torbido e gonfio il torrente notte e giorno. Abbiam veduto infatti come il ghiacciajo sia una gran lima che rode il fondo, rode le sponde, rode il mobile detrito, e tutto il prodotto di quella gigantesca limatura essere portata dal torrente lontano dal ghiacciajo, lontano dalla regione delle morene, giù nel piano, giù fino al mare. Mentre adunque formavansi quei cumuli morenici che meritano il nome di montagne, mentre per essi colmavasi il mare, piani sterminati, intiere regioni conquistate al mare, dovevano sorgere come per incanto, create dagli immensi depositi fluvio-glaciali. Indubbiamente la creazione di una gran parte delle pianure alluvionali dell'Europa, e di tutte le altre parti del globo, rimonta all'epoca glaciale. Ma i fiumi che sgorgavano dagli antichi ghiacciai sono quelli stessi che traggono le loro sorgenti dai ghiacciai attuali, o solcano le stesse valli, che dagli antichi ghiacciai erano percorse. La creazione adunque dei grandi depositi alluvionali continuò dopo l' epoca glaciale, e continua ancora. I nostri delta non sono che le parti più avanzate e le più recenti delle grandi formazioni alluvionali, le quali ebbero principio all'epoca glaciale, e fors'anche più presto. Come distingueremo adunque le alluvioni equivalenti del terreno glaciale, da quelle che si formarono o prima o poi? Bisogna ricorrere ai fossili.

Le antiche alluvioni riboccano di ossami in tutte le regioni del globo. Segnalati ovunque sono gli ossami di grandi mammiferi di specie estinte, segnatamente di elefanti e di rinoceronti. In tutte le regioni del Po, per es., si scoprirono elefanti che appartengono assai probabilmente all'*El. meridionalis.* Ma vi si scoprono pure avanzi del *cervo dalle corna gigantesche* (*Megaceros hibernicus*), specie estinta, ma che appartiene probabilmente ad una fauna più recente. Vi si scoprono inoltre reliquie di alce e di bisonte, specie ancora viventi, ma trincerate ora entro le regioni più nordiche. Aggiungi gli ossami d'altre specie o estinte o viventi. Quegli ossami si raccolsero dai curiosi, si ammirano nei Musei! Ma

chi ne ha determinato, chi potrà anzi determinarne il livello? Dobbiamo dunque conchiudere semplicemente, che una gran parte delle antiche alluvioni padane appartiene all'epoca glaciale, e son quelle specialmente che contengono l'*Elephas meridionalis* e il *Rhinoceros lepthorhinus*, prototipi di Leffe.

3. Caverne ossifere dell'epoca glaciale.

Fra i depositi recenti, superficiali, nei quali siamo spinti naturalmente a cercare gli equivalenti del terreno glaciale, ci si presentano i riempimenti delle caverne, i celebri ossarî che si scopersero nelle spelonche di tutte le regioni del globo. Le *caverne ossifere*, o meglio i depositi ossiferi delle caverne, sono abbondantissimi in Italia e in tutta l'Europa, e costituiscono quasi una formazione a sè, di data relativamente assai recente, e d'una importanza specialissima per la geologia dei terreni posterziarî. Di diversa natura come di diversa origine sono essi depositi, mentre ai prodotti d'incrostazione (stalattiti e stalagmiti) si associano argille, fanghi, sabbie, detriti d'ogni genere. Nulla di più ordinario che di scoprire in tali depositi reliquie organiche, specialmente ossami di belve. Quando si pensi come le caverne siano aperte all'atmosfera e in comunicazione col suolo esterno; come spesso le pioggie e le filtrazioni vi debbano condurre materie terrose dall'esterno; come possano venire dall'esterno inondate; come spesso scopransi sotterranee correnti nel loro seno, non ci farà maraviglia l'esistenza di depositi multiformi, ove gli ossami delle fiere, ospiti naturali delle caverne, trovinsi sepolti. Sarà però naturalmente difficile il poter distinguere qual deposito formossi prima, quale poi. Vi si troveranno anche facilmente reliquie umane e avanzi di umana industria, mentre le caverne furono in tutti i tempi abitate, e lo sono universalmente più o meno ancora. Pare dunque impossibile di trovare nelle caverne un deposito qualunque che offra i termini di una classazione geologica. Cominciamo però a dire che, salvo forse qualche eccezione, i fossili scoperti finora nelle caverne appartengono indubbiamente agli ultimi periodi geologici. O sono specie viventi, o specie posterziarie. Io non so che vi si trovasse mai una reliquia di specie appartenente all'eocene, al miocene, e nemmeno al pliocene; sempre inteso che ritengonsi posteriori al pliocene le specie ritenute generalmente come plioceniche, ma dimostrate da noi come glaciali. Le caverne stesse, determinate per lo più dal sollevamento dei continenti, devono essere relativamente assai recenti. I depositi ossiferi delle caverne, ridotti a rappresentare i periodi geologici più recenti, tra il pliocene e l'epoca attuale, possono perciò già ripartirsi sotto due orizzonti, distinguendosi quelli che contengono resti umani, o d'umana industria, da quelli che non ne contengono. I depositi senza nessun indizio d'uomo abbondano nelle caverne d'Europa, ed è sovente prodigiosa la quantità d'ossami di belve che vi si rinvengono. Quegli ossami appartengono per lo più ad un certo numero di specie estinte, costituenti una fauna, che si può chiamare la *fauna delle caverne posterziarie*. Nella seguente lista sono indicate le specie più caratteristiche:

Felis spelaea Goldf. — Nelle caverne d'Inghilterra, Germania, Francia e Italia.
Hyaena spelaea Goldf. — Nelle caverne delle regioni suddette e del Belgio.
Hyaena prisca M. d. Serr. — Nelle caverne di Francia.
Ursus spelaeus Boj. — Nelle caverne di tutta l'Europa.
Rhinoceros leptorhinus Cuv. — Nelle caverne d'Inghilterra.
Rhinoceros Merkii Jaeg. (*R. haemitoechus* Falc.) — Nelle caverne d'Inghilterra.
Hyppopotamus Pentlandi H. v. Mey. — Nella caverna di San Ciro presso Palermo.
Elephas meridionalis Nesti. — Nella caverna di San Teodoro in Sicilia.

Per rendere più pratico il concetto delle caverne ossifere, dirò un motto di una delle più rimarchevoli scoperte ai piedi delle Alpi di Lombardia. È la ca-

verna detta *il Buco dell'Orso* sopra Laglio, sul lago di Como (fig. 72). La parte accessibile misura circa 250 metri di lunghezza. L'esterno è fatto in guisa che le acque pluviali non possono entrarvi, formando invece talvolta uno stagno all'ingresso della spelonca. Ad un certo punto la caverna presenta una ripida discesa. Chi primo giunse sul fondo intatto nella parte più profonda, trovollo, a guisa di irregolare bacino, ricolmo di finissime argille, talora plastiche, talora finissimamente sabbiose, o meglio terrose, stratificate con sorprendente regolarità. Qualche rarissimo ciottoletto di quarzo arrotolato vi si scoperse. Un velo stalagmitico si estendeva all'ingiro, dal labbro del bacino verso il centro di esso, incompleto però in guisa che la maggior parte del deposito argilloso era intieramente scoperta. Il deposito stesso era anche eroso in parte, quasi una corrente di acqua vi si fosse aperta la via. Quei letti argillosi erano un vero cimitero di ossa di *Ursus spelæus:* non meno di 400 individui vi erano rappresentati; ma io credo ce ne siano migliaja. D'altre specie si rinvenne qualche osso in via affatto eccezionale. Gli ossami erano così intatti come fossero stati riposti in una vasca di macerazione. Dal punto dove essi si trovano la caverna continua ascendendo, e 10 metri più in là si arriva al punto ove un torrentello limpidissimo si precipita entro un foro naturale del suolo della caverna e perdesi negli abissi. Rimontando il torrentello si trovano due larghi stagni, finchè la vôlta abbassandosi, vieta d'inoltrarsi. Il letto del torrente e il fondo dei laghetti sono di ghiaja nerissima, composta di ciottoletti lisci arrotolati; e alcuni depositi di ghiaje e di sabbie a strati sulle sponde indicano le fasi di quella sotterranea corrente. I particolari descritti e gli spaccati di questa caverna li troverete nel secondo volume della *Paléontologie lombarde*, ove il signor Cornalia descrive la ricca serie dei nostri mammiferi posterziarî.

Come mai una caverna, ove regnava il formidabile orso che superava di ben quattro volte la mole dell'orso attuale delle Alpi, trovasi così destituita di ossami d'altri animali? La forma dei denti molari dell'orso delle caverne, come le abitudini dell'orso vivente nelle Alpi, a cui il fossile si avvicina, non accusano di soverchia ferocia quell'enorme quadrupede, che può dirsi, per rapporto al periodo dell'epoca posterziaria, l'imperatore delle caverne. L'orso delle Alpi è di costumi assai miti; si pasce a preferenza di vegetali, nè diviene carnivoro che necessitato dalla carestia degli ordinarî alimenti. Quella immensa spelonca, ove visse un popolo così numeroso di belve dalle terribili zanne, non presentò forse mai una scena di sangue. Ciò può servire, per mio avviso, assai a determinare l'origine di questi ammassi.

Molto infatti si disputò sulle cause che possono aver determinato tali congerie di ossami. Per sventura, l'opinione ricevuta più universalmente è quella che noi dobbiamo rifiutare come assurda per sè e in assoluta opposizione ai fatti. Si pretese che quegli ammassi di ossami fossero stati fluitati e deposti entro le caverne dalle correnti esterne che trovavano modo di cacciarvisi. Per concedere ciò bisognerebbe ammettere anzi tutto che la superficie del globo fosse un giorno letteralmente coperta d'ossami, sicchè ne risultasse una alluvione ossosa; poi la corrente avrebbe trascinato nelle caverne e ciottoli, e legnami, e conchiglie, e prodottovi un vero caos; poi guasti gli ossami, confuse le specie, e via via. Tutti i fatti sono contrarî all'ipotesi. Generalmente parlando: 1.° i depositi ossiferi sono veri ammassi di ossami in tutta la strettezza de' termini; 2.° gli ossami sono conservatissimi; 3.° il deposito terroso che li involge è generalmente grasso, fangoso, senza ciottoli, senza mistura di legnami o d'altro, d'indole tutt'altro che fluviale; 4.° si nota una certa distinzione di specie, ed una specie dominante.

È vero che in molti e molti casi si accennano dei ciottoli, si osservano degli ossami rotolati, e quanto accusa l'azione meccanica di una corrente; ma nello stesso modo ogni caverna offre delle specialità che esigono speciale spiegazione. L'errore in geologia nasce il più delle volte dal voler generalizzare ciò che di speciale si scopre in un dato caso. Certo un fenomeno generale, come è quello delle caverne ossifere, deve cercar ragione in una causa generale; trovata questa, si potrà passare oltre, e spiegare le specialità di ciascuna caverna.

Applicando la massima, noi poniamo la ragione generale dei veri depositi ossiferi (non di qualunque osso si trovi per caso in una caverna) nelle abitudini degli animali, che gli antri prediligono come loro dimora. Dalla volpe al leone, tutte le fiere cercano la tana. L'istinto di sociabilità riunisce gli individui della medesima specie, nè una specie può tollerare nello stesso covo una specie rivale: la tana dell'orso non può essere quella del lupo o della jena. Così si spiega come gli ossami delle caverne appartengano a preferenza alle fiere, e come in ciascuna caverna predomini una specie. La fiera carnivora guaterà la preda dal covo nativo, e la trascinerà palpitante per divorarla in seno alle tenebre. Le caverne abitate dalla *Hyæna spelæa* sono un campo di strage. Tale è la caverna di Kirkdale: le jene vi trascinavano i cadaveri e sulle ossa rôse di animali d'ogni stampo si osservano ancora le impronte dei denti ferini. Anche gli escrementi calcarei, caratteristici delle jene viventi, attestano che quelle fiere avevano nella caverna la loro dimora, e non vi furono tratte fortuitamente dopo la morte. Il rintanarsi delle belve quando sono afflitte da malore o minacciate da un pericolo, spiega come si accumulassero quegli ossami, o per sovrapposizione di molte generazioni, e forse talora per repentina catastrofe che spense contemporaneamente molti individui. Prescindendo dagli ossami, e in genere dalle sostanze animali sufficienti a creare da sè sole un deposito di qualunque spessore, come è il caso dei guani del Perù, differenti cause poterono dar luogo a differenti depositi in seno alle caverne. Trattasi talora semplicemente di ossami, cementati dal calcare incrostante, e ridotti a formare una breccia. Quanto alla matrice, ossia alla roccia che involge gli ossami, può avere anch'essa diversa origine, secondo i casi. Talora sono investiti dal calcare incrostante. D'ordinario è un terriccio grasso e fetido che li involge, e io credo non si tratti che di *humus* formato dalla decomposizione delle sostanze animali, misto a terriccio portatovi dalle pedate delle fiere che frequentavano quel covo, e a ogni genere di spazzatura. Quanto al regolarissimo deposito argilloso o terroso del Buco dell'Orso, lo vedremo un prodotto di origine glaciale. Il giustificare tali asserti esigerebbe un trattato, e noi ci dilunghiamo già anche di troppo. Gli esempî citati nol furono, per altro, che per mettere in evidenza il principio da me adottato: che, cioè, riconoscendo come causa generale dei veri depositi ossiferi nelle caverne tutte del globo le abitudini degli animali che le abitavano, dobbiamo cercare nelle varie particolarità dei depositi stessi le cause parziali variissime di esse particolarità.

Domandiamo ora: a qual epoca appartengono i depositi ossiferi delle caverne? Molti certamente al periodo glaciale. Se nol provano a sufficienza le specie di epoca glaciale, rinvenute specialmente nelle caverne d'Inghilterra, ho a mani un argomento, credo, invincibile: ed è ancora il Buco dell'Orso che me lo presta. I signori dottor Casella e abate Bernasconi mi rimisero alcune verificazioni fatte dietro mio invito, che confermano pienamente la tesi che io passo a sostenere, il cui sviluppo però esigerebbe un trattato.

Si ricorda il lettore d'un deposito di argille e di strati terrosi, di straordinaria finezza e regolarità, che involgevano, o meglio coprivano, gli ossami. Il sedimento dava indizî di profonde erosioni; anzi le porzioni di esso sedimento, lasciate qua e là anche negli angoli più riposti e nelle parti più alte, indicavano chiaramente, come tutta la caverna fosse stata letteralmente ostrutta dello stesso finissimo sedime. Dirò di più: l'attuale caverna si può dire letteralmente scavata nel deposito sabbioso e melmoso, che riempì interamente e in parte ancora riempie l'antica caverna calcarea, assai più vasta della caverna attuale, non risultando questa che dalla erosione parziale del deposito sabbioso o melmoso, che quella riempiva interamente. Donde proveniva quell'antico terroso riempimento di una caverna così spaziosa, aperta dalla natura in seno ad una montagna calcarea? dal torrentello che la caverna attualmente percorre non già: esso vi trascina delle ghiaje voluminose, e, ad ogni modo, avrebbe dato al deposito un aspetto fluviale. Qui nemmeno un grano di vera sabbia; tutto invece vi accusa la calma imperturbata di uno stagno. Gli stessi fatti escludono l'idea di una corrente esterna,

intesa nel vero senso, che la inondasse. — Riflettiamo invece ad un fatto, ed è questo: che il Buco dell'Orso si apre sul fianco del monte, assai al disotto dei limiti del terreno glaciale. I massi erratici si trovano a profluvio centinaja di metri al disopra della caverna: anzi il dottor Casella crede d'aver rilevato che il ghiacciajo del lago di Como soverchiasse le alture di tutta la montagna. Ci fu dunque un tratto di tempo durante il quale il Buco dell'Orso rimase otturato, anzi sepolto sotto al ghiacciajo. Ma, badate bene, avanti all'epoca dell'otturamento, ci fu un tempo in cui il ghiacciajo giunse al piede della caverna. Notisi che essa caverna si apre in fondo ad un seno, discretamente capace, che doveva rimaner sbarrato come una valle qualunque, e per un tempo forse lunghissimo. Che avvenir doveva del seno e della caverna in cui si prolunga? In piccolo, ciò che in grande avvenne della Val-del-Foresto, della Val-Adrara, del bacino di Leffe. Una volta che il ghiacciajo, riempito il lago di Como, levossi colla sua destra fino alla soglia della caverna, il seno e la caverna stessa furono necessariamente trasformati in laghetto glaciale, della lunghezza di forse 300 metri. Il torrentello scorreva certamente fino d'allora in fondo alla caverna; ma otturata ogni uscita dal ghiacciajo, incumbente alle regioni inferiori alla caverna, doveva esso torrentello rigurgitare e prestare più facile alimento alla formazione dello stagno. Quel laghetto, sul fianco di una enorme morena, lavata di continuo o dalle piogge o dal disgelo, doveva farsi torbido e deporre quella grande massa di sedimento, che ha una sorprendente somiglianza con certi strati terrosi di Pianico e di Leffe. Così doveva succedere finchè il ghiacciajo si limitava alla base della caverna. Ma esso continua ad alzarsi, e la caverna non figura più che come un vaso laterale, ove si ingolfa la fanghiglia glaciale, finchè l'abbia interamente ostrutto. Parrà creazione fantastica questa mia; ma il deposito c'è, e sfido a spiegarlo diversamente. Del resto, la causa che io gli assegno è al tutto facile, naturale; l'effetto necessario.

Fig. 72. — Il buco dell'Orso sopra Laglio.
A. — Lago interno.
B. — Foro d'immissione dell'acqua nell'emissario sotterraneo.
BC. — Linea approssimativa dell'emissario.
DE. — Fori in comunicazione coll'emissario.

È inteso che, in tale supposto, gli ossami orsini dovevano preesistere all'ot-

turamento della caverna. Forse però quegli orsi, vagolanti nelle regioni glaciali, continuarono a ripararsi nella caverna, quando i primi depositi lacustro-glaciali si formavano nella sua parte più depressa. Più tardi la caverna divenne inabitabile, inaccessibile. Perciò la gran congerie degli ossami trovossi entro un piccolo giro, nella parte ima della caverna stessa, ed anche qui gli ossami occupavano gli strati più profondi, di natura più argillosa e più conforme nei caratteri agli ordinarî depositi delle caverne ossifere. La gran massa stratificata, che riempiva la porzione della caverna, appena superiormente al pavimento attuale di essa, trovossi interamente priva di ossami e d'ogni avanzo organico. Trattasi insomma di un fango glaciale, che venne a sovrapporsi immediatamente ad un cumulo di ossami, quando i ghiacciai avevano quasi raggiunto il loro massimo sviluppo, per cui la loro preesistenza non è tale, che quel deposito ossifero non possa dirsi contemporaneo all'epoca glaciale.

Segue la seconda fase. Il ghiacciajo si ritira; la bocca della caverna è libera. Il torrentello interno ripiglia il suo corso; ma la caverna essendo interamente ostrutta da quella fanghiglia, esso non può trovare l'uscita che rodendola. Così quel finissimo sedimento è in gran parte esportato per la via più naturale, cioè per la bocca della caverna. Quando però l'erosione è giunta ad un certo punto, rimane scoperto quel foro sul fondo della caverna, per cui il torrentello si perde attualmente negli abissi. Da quell'istante esso più non invade, se non forse talora nelle piene straordinarie, la porzione anteriore della caverna, e le reliquie di quel sedimento e gli ossami da lui ricoperti ci rimasero intatti. La forma della caverna, ritratta nella figura 72, giustifica completamente il mio modo di vedere.

Conchiudendo, dirò che se, in base specialmente ai dati paleontologici, potevano già sincronizzarsi molti depositi delle caverne coi terreni glaciali; il *Buco dell'Orso* prestò i più positivi argomenti di un tale sincronismo.

Sincronizzate le *caverne ossifere* colle formazioni glaciali, si possono facilmente riferire alla stessa epoca altri depositi ossiferi, p. es., le *brecce ossifere*, sviluppatissime all'ingiro del Mediterraneo, e note singolarmente sulle coste d'Italia. Sono crepacci nella roccia, riempiti, come le caverne, di depositi argillosi, di tritume d'ogni sorta, e di ossami di specie post-plioceniche. Ove non si rinvengano avanzi umani, caso rarissimo del resto, si possono ritenere come anteriori all'èra antropozoica. Lo stesso dicasi di molti travertini. Resta però sempre un bello e lungo studio da farsi per chi voglia distinguere i depositi riferibili al periodo glaciale propriamente detto, piuttosto che al periodo più recente già accennato, o periodo dei terrazzi. Ma ormai la fauna del *Mammouth* è ben distinta da quella dell'*Elephas meridionalis*, del *Rhinoceros leptorhinus*, e degli altri tipi della fauna glaciale. S'abbia però sempre in mente che, trattandosi di depositi superficiali ed anche in attualità di formazione, la questione, circa l'epoca dei singoli depositi, diviene assolutamente pratica, da decidersi cioè secondo i dati paleontologici e stratigrafici offerti da uno studio accurato d'ogni singolo deposito.

Venendo alle formazioni assolutamente marine e d'epoca glaciale, ne troviamo il brano più considerevole, e finora il più interessante in Sicilia. Trattasi che quasi una metà dell'isola è ricoperta da una formazione, composta superiormente di calcare, inferiormente di argille, elevata fino 900 m. sul livello del mare. Sopra 124 specie di conchiglie, scopertevi da Filippi, 35 sono estinte. Il postpliocene di Sicilia è quanto v'ha di più adatto a farci comprendere l'immensa durata del periodo a cui lo riferiamo. Il solo calcare superiore ha la potenza di 200 a 300 m. secondo i luoghi; fragile e grossolano sopra alcuni punti, è sopra altri compatto come il marmo. Sotto il calcare dobbiamo ancora calcolare dei gres, delle puddinghe, e infine le argille con sabbie gialle, cui i fossili obbligano a comprendere nell'epoca stessa del calcare. Nulla manca a completare l'ideale di una formazione geologica: dicchi di rocce vulcaniche trapassano in più luoghi la formazione: letti di materie vulcaniche alternano cogli strati calcareo-argillosi. Un letto d'ostriche, p. es., prezzo Vizzini, dello spessore di 6 m., riposa sopra una corrente di lava basaltica: e una seconda massa di lava, con tufi e piperini, lo ricopre. Quelle

ostriche non sono nè più nè meno che le comuni ostriche commestibili. Un banco di corallo, dello spessore di 0m, 45, si potè seguire per parecchie centinaja di metri. Tutta questa formazione fu sollevata a 900 m. sopra il livello del mare, ed è già erosa da profonde vallate. A ritenerla glaciale due ragioni principali ci confortano. La prima, che essa formazione è indubbiamente posteriore al pliocene, rappresentato da altri terreni in Sicilia. La seconda, che la stessa formazione è anteriore all'ultimo sollevamento, il quale caratterizza, come vedremo, il *periodo dei terrazzi*, immediatamente susseguente alla epoca glaciale. Tra le conchiglie fossili si scoprono alcune specie proprie di latitudini assai più settentrionali, le quali accuserebbero forse un raffreddamento del clima marino. Ma vedremo più tardi quanto siano divenuti equivoci certi fatti e certe apparenze.

La formazione marina più importante che verrebbe a porsi, come ho già accennato ripetutamente in questa opera (1), tra i più sicuri equivalenti del terreno glaciale, è quella delle sabbie gialle subapennine.

Dall' epoca in cui Brocchi illustrò così splendidamente quella enorme massa d'argille e di sabbie costituenti le colline subapennine, invalse l'uso di considerare tutti quegli strati il cui spessore complessivo non è lontano dall'attingere i 1000 m., come una cosa sola. Si badò più tardi a separarne gli strati più profondi, che si riconobbero miocenici; ma poco si badò a cimentare la serie superiore colla critica della moderna stratigrafia. È certo intanto che una zona di argille, potente di forse 700 m. con balenoptere e delfini, sovrasta una zona polimorfa di sabbie, spesso ciottolose, d'argille con banchi di conchiglie, infine con tutti i caratteri d'un vasto deposito littorale. La fauna marina delle sabbie superiori ha indubbiamente un'aria più giovane di quella delle argille. Ciò almeno si verifica a Roma, dove la differenza è assai rimarchevole. Infatti nelle argille abbiamo le vere specie subapennine descritte dal Brocchi, mentre nelle sabbie, per esempio, in quelle di monte Mario, ricche di 272 specie, dominano le specie viventi: — *Pecten opercularis* L., *P. varius* Lk., *Spondylus gœdaeropus* L., *Modiola lithophaga* L., *Anomia ephippium*, *Ostrea edulis*, *Donax trunculus*, *Balanus tintinnabulum*, ecc.

È da queste sabbie, anzi dai letti più superficiali, che il Cortesi disseppellì gli elefanti, i rinoceronti, e precisamente le specie da noi già trovate come caratterische delle formazioni glaciali: *El. meridionalis* e *Rh. leptorhinus*. L'*El. meridionalis* del monte Pulgnasco giaceva negli strati sabbiosi più superficiali, non contenenti nemmeno fossili marini. La famosa *Balenoptera* del Museo di Milano stava nell'argilla a 600 piedi di profondità sotto l'elefante; misura che si può pigliare per lo spessore degli strati interposti ai due fossili, giacchè non si verificano colà che deboli inclinazioni. Il *Rh. leptorhinus*, pure del Museo di Milano, sul quale il Cuvier ha fondata la specie, giaceva sulle ultime argille, coperto da 200 piedi di sabbia. I balani (crostacei marini) si erano fissati su quelle ossa. Questa formazione littorale, di 200 piedi di spessore, appartiene dunque tutta al periodo glaciale. Aggiungi che la flora delle sabbie fu trovata da Heer molto simile alla flora di Utznach, indubbiamente glaciale.

Le osservazioni del prof. B. Gastaldi rendono assai attendibile la mia opinione. Il deposito littorale che si andava formando alla base delle Alpi doveva essere tanto più prossimo alla superficie del mare, quanto più guadagnava verso nord. Non è quindi maraviglia che si determinassero lagune e laghi d'acqua dolce, per cui si trovino, agli strati distinti da balenoptere e delfini, sovrapposti depositi di acqua dolce, che tengono luogo delle sabbie marine, esistenti più verso sud allo stesso livello stratigrafico. Ciò si verifica difatti tra Villanova e Villaffranca nell'Astigiano, donde il Gastaldi potè rilevare il seguente spaccato:

1.° Marne azzurre d'alto mare (alla base).
2.° Sabbie gialle con balenoptere e delfini.
3.° Sabbie e ghiaje, abbondanti di ossami, con conchiglie d'acqua dolce.

(1) Vedi specialmente Cap. XI, § 3, pag. 221.

4.° Argille, marne, e calcaree grossolane, ricche d'ossami d'altri mammiferi, e aventi l'aspetto d'un fondo paludoso.

Gli strati n.° 3 sono quelli che mi rappresenterebbero il periodo glaciale. Ai caratteristici *El. meridionalis* e *Rh. leptorhinus*, si aggiungono l'*Hippopotanus major* e l'*Elephas antiquus*, che si scopre nelle alluvioni del Tamigi, nelle caverne di Kirkdale, di Kent's Hole, di S. Ciro e nei dintorni di Roma, sempre in depositi postpliocenici. Gli strati n.° 4 invece rivelano una fauna più recente: buoi, cervi, cavalli, marmotte. Anzi allo stesso livello, nell'Astigiano, si sarebbe trovato un cranio di marmotta, punto o poco dissimile dalla marmotta delle Alpi, e un dente di mammouth tra Moncalieri e Carignano. Questi strati corrispondono probabilmente o al periodo dei terrazzi, o ai primordî dell'èra antropozoica.

Tutte queste cose erano da me state dette e stampate in parte nelle mie *Note ad un Corso di geologia,* e tutte nel mio *Corso di geologia* (1). Ma ormai non si tratta più di discutere se le *sabbie subapennine* siano o no equivalenti del terreno glaciale. Son esse, per dir così, che lo costituiscono dalla parte delle Alpi. A Balerna, a Camerlata, a Mazzé, insomma negli anfiteatri di Como e d'Ivrea, il terreno glaciale non solo succede immediatamente alle argille che nell'Apennino sono sottoposte immediatamente alle sabbie, ma si radica in esse, si fonde con esse. Il terreno glaciale occupa dunque a' piedi delle Alpi il posto delle sabbie subapennine, ed è il loro più legittimo equivalente. Le sabbie subapennine disegnano il littorale dell'antico Adriatico, le cui onde venivano a frangersi contro le scogliere dell' Apennino interno; il terreno glaciale invece, mescolato alle argille, disegna pure il littorale dell'antico Adriatico durante l'epoca glaciale, quando le onde del mare venivano a morire sotto l' enorme ghiaccia, che, grossa di parecchie centinaja di metri, sorgeva come barriera fra il mare e la terra al piede delle Prealpi. Del resto che serve? La fauna glaciale dell' anfiteatro di Como è nè più nè meno che la fauna delle *sabbie gialle* o del così detto pliocene superiore. L'abbiamo veduto (2). Su 156 specie 110 (76 specie, viventi e 34 estinte) appartengono all' orizzonte delle sabbie suddette. Vi appartengono molto probabilmente anche le altre 46 almeno per la maggior parte, come vi appartengono (con una sola assai dubbia eccezione) le poche specie determinate dell' anfiteatro d'Ivrea. Dunque il terreno glaciale e le sabbie gialle subapennine sono depositi contemporanei ed equivalenti.

(1) Vol. II, p. 687; 688.
(2) Vedi sopra il *Catalogo dei fossili*, ecc., a p. 170.

XIV.

UNITÀ DELL'EPOCA GLACIALE

1. Come debbasi intendere la pluralità dei periodi glaciali.

Quand' io pubblicai la Memoria *Il mare glaciale a piè dell'Alpi*, il signor Schimper, sotto la data del 1875, mi scriveva così:

« Vous avez eu la bienveillance de m'envoyer votre importante exposition sur la mer glaciaire de la Lombardie, que j'ai lu avec le plus vif intérêt. La constatation de cette mer, dont l'existence ne saurai plus offrir le moindre doute, est certainement une des découvertes le plus curieuses de l'époque. Elle servira à expliquer bien des phénomènes restés dans l'obscurité jusqu'à présent. La grande affaire sera maintenant de préciser rigoureusement l'époque à laquelle remonte l'immersion du pied méridional des Alpes. Si cette immersion est contemporaine de celle des îles britanniques, ou si elle est antérieure. Je crois que des considération sur la corrélation des dépôts subapennins avec les dépôts glaciaires de la Lombardie seront d' un grand poids pour trancher cette question. Je pense, qu'en admettant aussi pour les Alpes deux époques glaciaires, comme on est obligé de le faire pour la Scandinavie et les îles britanniques, certaines difficultées disparaitront. Nous avons du reste des données très-plausibles pour cette admission sur le versant septentrionel des Alpes de la Suisse ».

Io non ho raccolto nessun argomento per indurmi a sospettare che avesse luogo in Piemonte, in Lombardia, e nemmeno lungo l'Appennino, una immersione posteriormente all'epoca miocenica. I fatti generali per me sono questi: 1.° Sollevamento postmiocenico che determina i confini del mare pliocenico. Questo arriva ancora al piede delle Alpi; 2.° formazione delle argille azzurre subappennine nel mare pliocenico fino al piede delle Alpi, di cui anzi si coprono, fino all'altezza di più centinaja di metri, le basi ancora sommerse; 3.° arrivo dei ghiacciai alpini ai lidi del mare pliocenico sulla fine del periodo delle argille azzurre; caduta dei massi glaciali nelle argille; 4.° formazione di un deposito misto, glaciale-marino, con prevalenza del glaciale; 5.° formazione del terreno morenico e delle prette morene; 6.° ritiro dei ghiacciai e terrazzamento delle morene e dei depositi fluvio-glaciali; 7.° sollevamento post-pliocenico, contemporaneo e posteriore allo sviluppo dei ghiacciai subalpini.

Anche riguardo alle Isole Britanniche io non trovai ancora citati dei fatti che mi obbligassero ad ammettere codesta immersione durante l'epoca glaciale, sostenuta dai geologi inglesi. Gli Inglesi ammettono anzi una doppia oscillazione,

come Lyell e Darwin, per cui l'Inghilterra sarebbe emersa anteriormente all'epoca glaciale, poi si sarebbe sommersa fino ad una certa altezza durante l'epoca stessa, per riemergere più tardi. Ramsay ammette anzi una tripla oscillazione. A me pare che i fenomeni, sui quali si fondano le tesi dei suddetti geologi, si possono spiegare senza nessun bisogno di ricorrere alle oscillazioni, ed ho tentato di farlo nel mio *Corso di Geologia* (Volume II, Cap. XXVIII). Confesso però di non conoscere ancora abbastanza gli studi sul terreno erratico del Nord-Europa, che si sono moltiplicati a dismisura, principalmente in Inghilterra, in questi ultimi tempi.

Quanto alle ragioni riportate dagli Svizzeri per ammettere almeno due distinti periodi glaciali, me ne sono occupato più espressamente; e credo opportuno di riportare dal mio *Corso di Geologia* (Vol. II, pag. 689) i passi che vi si riferiscono.

« Il signor Heer raccoglie nell'opera già più volte citata i fatti che proverebbero questo doppio periodo glaciale. Studiando la dispersione del terreno erratico si sarebbe posto in chiaro che gli antichi ghiacciai attinsero dapprima il loro massimo sviluppo, invadendo tutta la Svizzera tra le Alpi ed il Giura; si sarebbero quindi ritirati assai addentro nelle grandi vallate alpine, d'onde sarebbero usciti di nuovo, invadendo la Svizzera, ma arrestandosi assai prima d'aver raggiunta la linea primitiva di massimo avanzamento. Il ghiacciajo del Rodano, per esempio, scendendo dall'Alpi, riempita la vasta depressione entro la quale si sprofondano attualmente i laghi di Ginevra e di Neuchatel, si sarebbe dapprima arrestato contro i primi contrafforti del Giura. Ritirossi dappoi, secondo Morlot, lasciando libero il lago di Ginevra, e arrestandosi nel Vallese superiore, donde discese di nuovo, accontentandosi però di occupare soltanto il bacino del lago.

« La pluralità, o almeno la duplicità dei periodi glaciali, sembrò ad Heer dimostrata eziandio dai depositi a *charbon feuilleté*. Abbiamo veduto infatti come a Unterwetzikon il terreno erratico si trova alla superficie, e s'incontra anche sotto le argille che servono di letto alle ligniti (§ 1225), e come a Mörschweil esso terreno erratico si trova a differenti livelli. In altri luoghi alternano col glaciale depositi alluvionali o lacustri. Il signor Heer si crede perciò autorizzato a presentare il seguente quadro dell'epoca quaternaria :

Pliocene.
Quaternario.
 Primo piano glaciale.
 Interglaciale (ciottoli rotolati e *charbons feuilletés*).
 Secondo piano glaciale.
 Postglaciale.
Formazione attuale.

« Quanto al primo ordine di fatti sui quali si appoggia la teoria della pluralità dei periodi glaciali, ammettendoli pure come dimostrati, non basterà egli il dire che, come i ghiacciai attuali oscillano continuamente e talora considerevolmente, così andarono soggetti gli antichi a grandiose oscillazioni? Quanto al secondo io sospetto che non si tratti di altro, se non di quello che noi abbiamo verificato a Pianico. È evidente colà, come abbiam detto (1), che, appena la Val Borlezza venne sbarrata dal ghiacciajo, il lago si arrestava contro la morena, sommergendone la base, per cui il terreno erratico veniva coperto dai sedimenti lacustri, o meglio si mescolava ad essi. Ma gonfiandosi e dilatandosi il ghiacciajo ognor più, finì coll'occupare una parte dell'area tenuta dal lago, e il terreno erratico venne a rovesciarsi sul deposito lacustre, che aveva acquistato un immane spessore, e a ricoprirlo. Noi troviamo perciò a Pianico il terreno erratico sotto e sopra al lacustre, anzi a diversi livelli, entro lo stesso deposito lacustre, come a Unterwetzikon e a Mörschweil, senza che nulla ci obblighi nemmeno a sospettare grandi oscillazioni, e tanto meno diversi periodi glaciali.

(1) Vedi sopra a pag. 245.

« La figura 72 serve a dimostrare, in via teorica, come possono, durante un periodo di avanzamento, verificarsi quelle alternanze di terreno glaciale e di

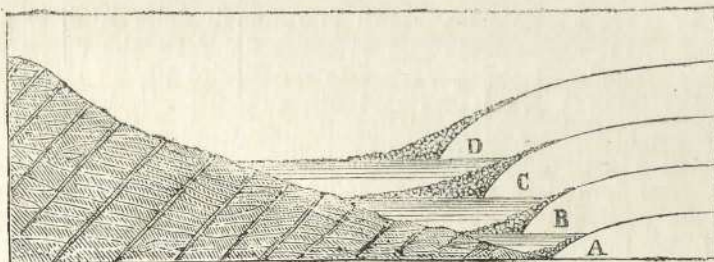



Fig. 72. — Alternanza di terreno glaciale e di terreno lacustre per semplice effetto dell'avanzamento di un ghiacciajo.

terreno lacustre (od anche fluviale se il lago non si forma), che possono essere prese come indizi di più periodi glaciali. Le curve segnano come altrettanti periodi di successivo rigonfiamento e di conseguente dilatazione di un ghiacciajo che sbarra una valle laterale. Posto che il nostro ghiacciajo sia in progresso per una certa serie d'anni, supponiamo che in un dato inverno (stagione di massimo avanzamento annuale) arrivi, rimontando la valle laterale, fino in *A*. Il lago, determinato dallo sbarramento, verrà a sommergere la morena laterale *A*, demolendola e ricoprendola di sedimenti lacustri; i quali si distenderanno viemaggiormente durante l'estate, quando il ghiacciajo temporaneamente si ritira di un tratto più o meno considerevole. Nel successivo inverno il ghiacciajo, in contino progresso, non solo ritornerà fino al punto *A*, ma sarà capace di oltrepassarlo. Ma ciò non può fare, se non soverchiando il deposito glaciale e fluviale dell'anno precedente; per cui lo troveremo, per un supposto, al punto *B*. Il lago si alza in proporzione, demolisce e ricopre di sedimento la morena in *B*. L'anno seguente gli stessi fenomeni avranno luogo in un punto più avanzato in *C*, e così di seguito. Supponiamo che, giunto il ghiacciajo in *D*, succeda un periodo di regresso. Il terreno glaciale, disseminato mano mano dal ghiacciajo in ritirata, verrà (come mostra la figura e come si verifica a Pianico, e nelle località dei *charbons feuilletés* della Svizzera e della Savoja), a ricoprire tutta la massa dei depositi lacustri, che si troveranno alternanti con depositi erratici. Ad una serie di oscillazioni annuali, in un breve periodo di progresso, sostituite una serie di oscillazioni secolari nella lunghissima epoca glaciale; e il fenomeno dell' alternanza dei due terreni potrà presentarsi su tali estensioni e a così vasta scala, che il geologo sia tentato ad ammettere diversi periodi glaciali. Io credo che sui due versanti si sia verificato precisamente ciò che abbiamo, in via teorica, supposto ».

Ciò che nell'ipotesi, o piuttosto nel fatto, si è verificato per riguardo ai laghi glaciali di sbarramento, poteva avvenire, ed è probabilmente avvenuto, per riguardo al mare. Mi sembrerebbe la cosa più naturale del mondo che, entro la zona de' nostri anfiteatri morenici marino-glaciali, si venissero a scoprire alternanze di schietti sedimenti marini con altri marino-glaciali, o di questi con schietti depositi glaciali. Si avrà ragione per questo di stabilire diversi periodi glaciali?

Se si prendesse a stabilire la cronologia dell'epoca attuale sulle oscillazioni che hanno presentate i ghiacciai anche in tempi storici, dovremmo dividerla in centinaja di periodi. Tra il 1818 ed il 1820 si compì, per esempio, un periodo di avanzamento dei ghiacciai alpini; ora invece (1879) siamo in un periodo di regresso, il quale ha avuto principio verso il 1860. Ogni oscillazione di ghiacciai rappresenta un'epoca geologica, come ciascuno dei mille strati componenti un terreno. Ma non confondiamoci: non è così che s'intendono l'epoche geologiche, considerate nella loro tellurica universalità, fondate su fenomeni od avvenimenti che interessano la geologia generale, avendo portato delle variazioni profonde nelle condizioni fisiche e fisiologiche del globo.

L'invasione degli antichi ghiacciai e il loro successivo regresso, ecco un fenomeno tellurico nuovo, universale, degno di fissare un'epoca, la quale è del resto caratterizzata anche da una fauna specialissima. Non domandiamo di più. Per ciò che riguarda in modo speciale i versanti meridionali delle Alpi, io convengo col Gastaldi, il quale nega recisamente che vi siano dei fatti che dimostrano pel Piemonte il doppio periodo glaciale, sostenuto da Morlot per la Svizzera ed anche per l'Italia dal Geikie (1). È soltanto nei limiti suddetti, riferendo cioè i fenomeni riconosciuti finora in Italia e fuori alle oscillazioni degli antichi ghiacciai, che noi siamo autorizzati a distinguere diversi periodi o piuttosto fasi in cui ripartire l'epoca glaciale, considerandola sempre come un periodo tellurico unico, come un'*êra neozoica,* che ha preceduto immediatamente il periodo geologico ancora in corso, cioè l'*êra antropozoica.*

I fatti osservati in Italia ci autorizzano soltanto a distinguere tre di questi periodi o fasi:

1.° *Periodo di massimo avanzamento,* in cui gli antichi ghiacciai si spinsero verso il mare oltre i confini degli anfiteatri morenici.

2.° *Periodo degli anfiteatri morenici,* o periodo di sosta; con oscillazioni entro i limiti degli stessi anfiteatri.

3.° *Periodo di regresso,* detto più comunemente *periodo dei terrazzi,* durante il quale i ghiacciai si ritirarono fin verso i loro attuali confini.

Dei primi due periodi tratta il presente capitolo. Al terzo sarà consacrato il capitolo seguente.

2. Periodo di massimo avanzamento.

Vi fu un'epoca in cui i ghiacciai discesero dalle Alpi, invadendo le regioni subalpine. Questa discesa fu descritta nei capitoli precedenti. Essa avvenne durante l'epoca pliocenica, in guisa che i ghiacciai arrivarono allo sbocco delle valli alpine, dove esistono attualmente i loro anfiteatri, quando l'epoca pliocenica stava per chiudersi, cioè quando già si deponevano le ultime argille che la caratterizzano. Qui tuttavia non si arrestarono i ghiacciai nella prima fase del loro sviluppo. È un fatto che, anteriormente al periodo degli anfiteatri, essi si spinsero oltre i limiti segnati dagli anfiteatri stessi, elevandosi sui lati rispettivi superiormente a quelli segnati dalle morene laterali nell'interno delle valli, dove le morene stesse furono descritte come altrettanti gradini o terrazzi che si appoggiano sui fianchi delle montagne fino all'altezza di più centinaja di metri sul fondo delle rispettive valli. Lo dicono le rupi arrotondate che, in zona continua, discendente dalle sommità delle Alpi fino al piano, sovrastano alla zona ugualmente discendente delle laterali morene: lo dicono i massi erratici sparsi nello stesso senso discendente a parecchie centinaja di metri superiormente alle stesse morene laterali: lo dicono finalmente gli stessi massi erratici i quali si scoprono, benchè rare volte, scavando il terreno che si distende verso il mare oltre i limiti esteriori degli anfiteatri morenici. Probabilmente in quel periodo di primitivo avanzamento i grandi ghiacciai alpini, o almeno alcuni di essi, si fusero insieme, formando uno o più mari di ghiaccio, i quali si protendevano nella attuale pianura, allora, come abbiam visto, occupata dal mare. Osservando gli indizi della presenza di quegli antichi ghiacciai in tutta la regione montuosa, appare evidente che vi fu un periodo in cui soltanto le maggiori cime delle Prealpi italiane emergevano a guisa di piccole isole sparse in un gran mare di ghiaccio. Qual'è la misura di codesto primo espandimento degli antichi ghiacciai?

(1) Gastaldi, *Appunti sulla memoria di Geikie.* — On change of climate during the glacial epoque. — Torino 1873. — È degno di nota che il Geikie, nella citata memoria, basandosi sulla fauna e sui rapporti tra le sabbie, dette plioceniche, del Piemonte, e i depositi di Dürnten in Svizzera, ritiene che vi sieno forti ragioni per riferirle al cosidetto periodo interglaciale, e in ogni caso per non ritenerle preglaciali. I precedenti capitoli gli danno perfettamente ragione; avvertendo soltanto che la pertinenza delle *sabbie gialle* all'epoca glaciale era stata da me dimostrata, almeno sei anni prima, cioè nel 1864, quando pubblicai il secondo volume delle mie *Note ad un Corso di Geologia.*

Secondo il modo di vedere del prof. Taramelli, il protendimento frontale degli antichi ghiacciai nell'Alta Italia sarebbe stato tale che per poco non invadeva, non solo l'antico, ma anche l'attuale Adriatico. Egli distingue infatti un *primo periodo glaciale* in cui, per esempio, i ghiacciai della Piave e del Brenta, fusi, a quanto pare, con quelli del Tagliamento, si spinsero fino al mare, a cui abbandonarono le loro morene attualmente irreperibili. Un *secondo periodo glaciale* è quello degli anfiteatri morenici, durante il quale formaronsi allo sbocco della rispettiva valle l'anfiteatro del Tagliamento e quello della Brenta entro la gola sopra Bassano, mentre il ghiacciajo della Piave tuffava ancora la sua fronte nel mare, dove rimase immerso il suo anfiteatro (1). Il Taramelli lascia del resto indeterminata la misura assoluta dell'allungamento dei ghiacciai nel primo periodo. Rilevo soltanto da una carta colorata a mano, ch'egli ebbe la bontà di spedirmi, che, secondo le sue idee, il mare di ghiaccio risultante dalla confluenza degli antichi ghiacciai della Brenta, della Piave, del Tagliamento e dell'Isonzo, si dilatava fin verso le attuali bocche del Po, il che darebbe, a dir poco, 150 chilometri di allungamento oltre i limiti esterni degli anfiteatri. Codesto mi par troppo davvero, e avremmo bisogno di maggior numero di fatti per affrontare in modo più serio la questione. Sarebbe necessario principalmente che noi potessimo tener dietro alla dispersione dei massi erratici nella pianura che si distende in oggi tra il mare e gli anfiteatri. Ma come è possibile, se quegli erratici e le morene che per avventura si fossero formate, quand'anche potessero scoprirsi non molto al disotto del livello del mare, dovrebbero essere in ogni caso coperte dai depositi marino-glaciali, e indubbiamente dalle successive alluvioni? Molte trincee si scavarono nella pianura; ma sono in genere così poco profonde che sarebbe stata vana pretesa il volervi scoprire gli erratici supposti. I pozzi molto profondi che si scavarono, per esempio, nell'agro milanese, avrebbero forse potuto dirci qualche cosa; ma chi ci badava allora?

In un luogo soltanto m'avvenne di scoprir qualche cosa di ciò che desiderava. Abbiamo già detto che il ghiacciajo del lago di Lecco, verso il suo termine, si insinuava, col sinistro lato, fra le montagne dell'Albenza e il monte Canto, terminando precisamente a Pontita, dove formava quella collina, porzione di morena frontale, che unisce i due monti suddetti, incrociando la valle che li separa. Quella morena venne traforata dal *tunnel* di Cisano per dar passo alla ferrovia Bergamo-Lecco (2). Passato il *tunnel*, la ferrovia s'inoltra verso Bergamo con una serie di trincee che misero a nudo il sottosuolo fin oltre il letto del Brembo. Anche al presente, benchè ultimati i lavori da molti anni, sono visibili in copia stragrande i massi alpini, che erano impigliati nel sottosuolo quasi alla superficie, non toccando il fondo delle trincee profondità maggiori di cinque o sei metri sotto il piano quasi regolare che si distende tra la morena terminale di Pontita e il fiume Brembo. Quei massi erratici continuano sotto un'alluvione di poco spessore fino a Mapello, cioè cinque o al più sei chilometri al di là della morena. Più oltre subentra l'alluvione Brembana che rimonta all'epoca glaciale, ricoprendo immediatamente il ceppo, ossia il conglomerato torrenziale che rappresenta in quei posti il pliocene (3). L'alluvione Brembana è molto grossolana, e tra i ciottoli minori ond'è composta, si scoprono dei massi che raggiungono anche un metro di diametro. Sono però tutti arrotondati, subellitici, prettamente torrenziali. Invano ve ne ho cercato uno che fosse angoloso, o di cui comunque potesse sospettarsi l'origine glaciale. Del resto non appartengono a rocce alpine, ma a quelle che si trovano ben sviluppate nelle montagne della val Brembana da cui unicamente dipendono. È dunque positivo che i massi erratici dell'antico ghiacciajo del lago di Como non si spingono più di cinque o sei chilometri a valle del rispettivo anfiteatro morenico. Un allungamento così breve di quell'antico ghiacciajo nel primo

(1) Taramelli, *Cenni sulle condizioni geologiche e climatologiche della Provincia di Treviso.*
(2) Vedi sopra a pag. 82.
(3) Vedi sopra pag. 212-216.

periodo di avanzamento sembra a prima giunta sproporzionato alla immane altezza che a quello stesso ghiacciajo assicurano le rocce arrotondate e lisciate, e i massi erratici sparsi sui fianchi delle montagne che fiancheggiano il lago di Como superiormente al livello delle morene laterali. Eppure non lo è, come passo a dimostrare.

Stando ai suddetti indizi, il ghiacciajo del lago di Como avrebbe toccato un'altezza di 300 a 500 metri maggiore di quella che possedeva quando fabbricava il suo anfiteatro e le morene laterali che ne dipendono. A sì grande altezza sembra che il ghiacciajo, stante la piccola pendenza degli attuali, dovesse avanzare chissà di quanti chilometri la sua fronte. Ma vediamo se è possibile di stabilire, per mezzo del calcolo, qualche cosa di meglio definito, in via almeno di approssimazione.

Lasciata da parte qualunque indagine sulla pendenza presumibile degli antichi ghiacciai, mi limito ad un confronto tra l'allungamento frontale dei ghiacciai attuali in rapporto colla loro altezza sul fondo delle rispettive valli, e quello del ghiacciajo del lago di Como, indicati dai massi di Pontita, in rapporto colla sua elevazione indicata dagli arrotondamenti e dai massi erratici sul livello del lago e della valle dell'Adda. Tale confronto ci è permesso, con promessa di condurci ad un risultato molto decisivo, da un fatto verificatosi molto opportunamente in questi ultimi tempi.

Uno dei fenomeni più interessanti per la fisica terrestre è, per così chiamarlo, la riproduzione su piccola scala ai nostri giorni della stessa vicenda, per rapporto ai ghiacciai delle Alpi, che caratterizza l'epoca glaciale. Noi assistiamo attualmente ad un periodo di straordinario regresso. Da quando ebbi occasione di annunciare, in uno dei precedenti miei scritti (1), che un seguito d'anni come il 1861 farebbe rinculare i ghiacciai ben addentro i recessi delle Alpi; questi non hanno cessato di ritirarsi. Non ho mancato nelle mie susseguenti pubblicazioni di chiamare, quasi ogni anno dappoi, l'attenzione dei geologi su questo fatto. Le morene frontali, per quanto mi consta, furono, tutte senza eccezione, abbandonate a molte centinaja di metri dalla fronte del rispettivo ghiacciajo, e le rocce lisciate, arrotondate, striate, messe a nudo sopra estensioni di migliaja di metri quadrati sulla fronte e sui fianchi; le vedrette sono ridotte a piccole tasche di neve e moltissime scomparse; di nevi fresche quasi più nessuna traccia sulle alture coperte di nevi persistenti; queste ridotte a ben più angusti confini. Chi ha visitato ripetutamente le stesse località in questi ultimi anni, dev'essersi accorto che il paesaggio alpino, nelle regioni più elevate, ha interamente cambiato d'aspetto.

Questo periodo di straordinario regresso, il quale altri ne ricorda storici ma di data molto antica, corre dal 1860, e non accenna a chiudersi certamente. Ma esso fu preceduto, come avvenne in grande nell'epoca glaciale, da un periodo di avanzamento il quale era già cominciato, se valgono le notizie da me raccolte, molto avanti la fine dello scorso secolo, ed occupò tutta la prima metà del presente, toccando il suo *maximum* verso la fine del primo quarto e più precisamente nel 1820.

Mentre sto preparando un lavoro apposito su questo interessante fenomeno, basterebbe allo scopo nostro di poter affermare (in seguito alle osservazioni ed alle misure prese su molti ghiacciai lungo tutta la catena delle Alpi, tanto dalla parte dell'Italia, come dalla parte della Svizzera) che 100 metri di elevazione corrispondono all'incirca ad un chilometro di avanzamento, e viceversa. Ma per non obbligare il lettore a credermi unicamente sulla parola, ecco il risultato delle mie osservazioni eseguite precisamente nel giorno 18 agosto dell'anno 1878 appena spirato, sopra due dei più celebri come dei maggiori ghiacciai della valle di Chamonix, cioè sul ghiacciajo *La Mer de Glace* o *Glacier des Bois*, e su quello dell'*Argentière*.

Del primo si conosce con tutta certezza la morena frontale del 1820, la quale

(1) *Note ad un corso di Geologia;* I, § 515.

è perfettamente delineata nella topografia dello stesso ghiacciajo che serve di corredo alla celebre opera del Forbes, e fu eseguita nel 1842 (1). Io avevo dunque un punto di partenza sicuro per misurare il regresso avvenuto dopo il 1820, regresso che però, come si è detto, è quasi per intero opera del disgelo che ebbe luogo a partire dal 1860. La sommità delle morene laterali, entro cui il ghiacciajo si vedeva profondamente incassato, si legava naturalmente a queste morene del 1820. Esse sovrastavano al ghiacciajo, tanto sulla destra come sulla sinistra, a guisa di muraglioni, o meglio di argini di terra e di massi a ripidissima scarpa. Era facile adunque misurarne l' altezza, e desumerne la cifra dell' abbassamento sofferto dal ghiacciajo in questi ultimi anni, in corrispondenza col suo accorciamento; sempre inteso che tale cifra doveva essere sempre, e probabilmente di molto, inferiore al vero, stantechè quelle morene laterali, composte di materiali affatto incoerenti, dovevano essersi degradate assai nei 58 anni (dal 1820 al 1878) da che vennero dal ghiacciajo definitivamente abbandonate. Stabilito il rapporto tra l'abbassamento del ghiacciajo ed il suo accorciamento, ne risulta naturalmente, per l'identità dei termini, quello tra il rigonfiamento o maggiore elevazione del ghiacciajo e il suo allungamento, quando toccava i limiti segnati dalle morene del 1820. Ecco il risultato delle mie misure pel regresso frontale.

Dalla morena del 1820 a quella del 1860	metri	84
Da questa ad una 1.ª morena interna	»	108
Da questa ad una 2.ª morena interna	»	180
Da questa ad una 3.ª morena interna	»	192
Da questa ad una 4.ª morena interna	»	192
Da questa al limite inferiore del ghiacciajo	»	200
Totale dell'arretramento dopo il 1820	metri	956

Quanto all'altezza verticale delle morene laterali sopra la superficie del ghiacciajo, era difficilissimo stabilirla, stante l'estrema irregolarità delle rispettive creste e le ineguali pendenze. Io credo che dal fondo della valle, dove termina il ghiacciajo con un dirupo di ghiaccio inaccessibile, fino al vertice delle morene che gli sovrastano minacciose sulla destra, non c'era meno di 100 metri. Il signor ingegnere Visconti di Alessandria, mio compagno di spedizione, misurò fino a 150 m. a partire dalla sommità della morena laterale sotto il Montanvert per discendere dove si attraversa il ghiacciajo a fine di raggiungere il *Mauvais Pas;* il che, avendo la stessa morena un' inclinazione di circa 30 gradi, darebbe, per l' altezza verticale, circa 75 metri.

Più ancor considerevole è il regresso subìto dal ghiacciajo dell'*Argentière,* il quale lasciò vuoto un anfiteatro veramente spettacoloso, e non indegno di figurare a fianco degli antichi. Anche qui si osserva dapprima una stupenda morena frontale intera, e già coperta di giovine foresta ch' io ritenni indubbiamente per la morena del 1820. Internamente vedevasi un' altra morena ancora affatto nuda; quella certamente del 1860. Di qui si procedeva verso l' estremità inferiore del ghiacciajo, sempre attraversando l' arena di un grandioso anfiteatro, cinto da altissime morene laterali, e sparsa di innumerevoli gruppi di massi sovente di enormi dimensioni.

Dalla morena del 1820 a quella del 1860	metri	168
Da questa all'estremità del ghiacciajo	»	830
Totale dell'arretramento dopo il 1820	metri	998

L'altezza delle morene laterali sul fondo della valle all'estremità del ghiacciajo, misurata però soltanto ad occhio, non doveva essere minore di 80 a 100 m,

(1) Forbes, *Travels through the Alps of Savoy,* Edimbourg 1845.

In conclusione, considerando, come dissi, che le morene laterali dovevano, stante la loro incoerenza, aver perduto molto della loro altezza, sia per naturale franamento, sia per l'azione delle acque pluviali nei 58 anni che corsero da quando furono dal ghiacciajo abbandonate a loro stesse, io credo di non dir troppo asserendo che ad un chilometro di accorciamento corrisponde all'incirca un abbassamento di 100 metri; e viceversa, che ad un' elevazione di 100 metri sui fianchi della valle corrisponde all'incirca un chilometro di avanzamento della fronte.

I fatti sono fatti; sicchè, per quanto si lascino larghi i limiti presuntivi del più o del meno, 500 o 600 metri di elevazione (credo di dire delle cifre massime) delle rocce lisciate e arrotondate e dei massi erratici sopra il livello delle morene laterali sulle sponde del lago di Como o delle valli alpine in genere, non darebbero, pel primo periodo di massimo avanzamento degli antichi ghiacciai, che un protendimento frontale di 5 o 6 chilometri oltre i limiti degli anfiteatri morenici, in perfetta corrispondenza a quello che risulta dalle citate mie osservazioni nei dintorni di Pontita. Raddoppiamo anche la cifra risultante da questi calcoli; non riusciremo che a 10 o 12 chilometri, con che l' estensione degli antichi ghiacciai nel periodo di massimo espandimento, in confronto con quella che è segnata dagli anfiteatri, non subirà che un incremento, sto per dire, affatto indifferente.

Taramelli (1), mentre opina, come s'è detto, che il ghiacciajo del Tagliamento si estendesse fino ai confini attuali del mare ed anche più, cita in prova due massi ritenuti glaciali; l' uno a Buttrio, l'altro alle falde del Carso Monfalconese. Fermandoci al primo che dipende dal Tagliamento, mentre l' altro si riferirebbe all'antico ghiacciajo dell'Isonzo, esso si trova su per giù a 20 chilometri dal limite del rispettivo anfiteatro. Non ha, dice il Taramelli, che un diametro di mezzo metro o poco più. Davvero che un sol masso, e di tali dimensioni che se ne trovano moltissimi nelle antiche alluvioni, è troppo poca cosa per farne fondamento di una teorica qualunque. Sia pure angoloso ed abbia tutti i caratteri glaciali: potrebbe anche esser stato trascinato colà da una di quelle irruzioni torrenziali, dipendente dai ghiacciai, di cui la storia dei ghiacciai moderni ha offerto tanti esempi, sia in conseguenza di grosse pioggie continuate, o pel vuotarsi improvviso di un lago glaciale. Basta ricordare i fatti riportati sopra (2). Al postutto anche 20 chilometri di avanzamento oltre i limiti degli anfiteatri non sono questa gran cosa più di quello che abbiamo fissato in conseguenza di fatti ben meglio accertati e discussi. Noterò finalmente che i limiti d' altezza, assegnati dallo stesso Taramelli ai ghiacciai del Veneto, si fermano a circa 700 metri sul fondo delle rispettive valli. Questo vuol dire che quei ghiacciai presentarono su per giù lo stesso sviluppo delle Alpi lombarde e piemontesi. Non contesto del resto al mio amico che il ghiacciajo della Piave ed anche gli altri delle provincie venete siansi avanzati in mare: intendo nel mare d'allora, mentre abbiam visto che vi si tuffavano anche i ghiacciai della Lombardia e del Piemonte (3). Ma quanto alla non esistenza dell' anfiteatro della Piave, in cui il Taramelli vedrebbe una prova del grande avanzamento di quell' antico ghiacciajo, e del sommergersi in mare della sua fronte anche durante il periodo degli anfiteatri, io credo che essa debbasi at-

(1) *Dei terreni morenici ed alluvionali del Friuli.*

(2) Vedi pag. 30-32.

(3) Massi di graniti, gneis, micaschisti, molto simili alle varietà alpine più comuni, talora di mole enorme ed in copia strabocchevole, sono sparsi in tutto l'Appennino ligure e toscano, e diedero argomento di molte discussioni ai geologi (Pareto, Studer, Gastaldi). Mi sorrideva molto l' idea che, come altri già aveva pensato, fossero glaciali, e che le montagne di ghiaccio galleggianti, staccandosi dai ghiacciai alpini, quando le basi dell' Appennino erano ancora sommerse, ve li avessero dispersi, dopo averli portati attraverso l'antico Adriatico. Ormai però sembrami dimostrato che quei massi appartengono a conglomerati più antichi dell' epoca glaciale, ed in diretto rapporto colle eruzioni terziarie delle rocce ofiolitiche e delle argille scagliose, prodotte le prime dai vulcani, le altre dai vulcani di fango che tormentarono tanto nei periodi terziari tutta la penisola. La questione è trattata ampiamente e sciolta in questo senso dal Taramelli nella nota che s'intitola: *Del granito nella formazione serpentinosa dell'Appennino pavese* (Rendiconto del R. Istituto Lombardo, 1878). Io non rinuncio però all' idea che i massi alpini, portati dagli antichi ghiacci galleggianti, debbano un giorno trovarsi almeno sui versanti dell'Adriatico.

tribuire piuttosto all'abbassamento postglaciale delle provincie venete, di cui parlerassi nel capitolo seguente. Tale assenza vuol esserne anzi una delle prove più luminose.

Concludendo, mentre ammetto come dimostrato un primo periodo di avanzamento degli antichi ghiacciai oltre i limiti esterni dei rispettivi anfiteatri, non credo che a tale avanzamento si possa dare una misura maggiore di 6 a 10 chilometri. Quel periodo di massimo avanzamento fu relativamente brevissimo, mentre non diè tempo ai ghiacciai di edificare vere morene. Dovettero invece ritirarsi ben tosto, seminando semplicemente di copioso detrito il cammino della ritirata, per arrestarsi da sei a dieci chilometri più a monte, dove sostarono per secoli e secoli, intenti all' edificio di quei grandi anfiteatri, i quali rappresentano l' epoca glaciale propriamente detta, ossia un lungo periodo d'invasione glaciale, che merita di figurare nella storia del globo come un periodo a sè.

3. Periodo degli anfiteatri morenici.

Non ci resta nulla da dire su questo grande periodo, il quale ha dato argomento a tutti i capitoli precedenti. La sosta degli antichi ghiacciai fu lunga; lo dice la massa enorme dei loro anfiteatri morenici. Durante la sosta però furono soggetti, come gli attuali ghiacciai, ad oscillazioni abbastanza sensibili. Talora dovettero avanzarsi, talora retrocedere, mantenendosi però sempre sopra una zona frontale a cui potremmo assegnare tutt'al più una larghezza di 20 chilometri. È questa all'incirca la massima estensione della zona coperta dall'anfiteatro del lago di Garda, il più colossale degli anfiteatri italiani. Come si verifica pei ghiacciai attuali, le oscillazioni non furono punto uniformi per tutti e singoli gli antichi. Il ghiacciajo d'Ivrea, per es., mostra il suo anfiteatro condensato, per dir così, nell'unica colossale morena della Serra. Lo stesso si dica dell'anfiteatro del lago d'Iseo, il quale si riduce principalmente alla grande morena della Franciacorta. L'anfiteatro morenico di Garda invece offre una dozzina almeno di grandi morene concentriche. Quello che si nota ugualmente per tutti gli anfiteatri è il fatto che si formarono mediante una serie di piccoli successivi regressi intermittenti, alternanti cioè con altrettanti periodi di sosta. Tutti infatti sono composti di parecchie morene frontali concentriche, le quali corrispondono appunto ad una serie di regressi seguiti ciascuno da un periodo di sosta, che si cominciano a contare colla morena più esterna per terminare colla più interna. L'anfiteatro italiano che presenta la serie più numerosa e più distinta di cerchie moreniche è, come si è accennato, quello del lago di Garda. Abbiamo veduto infatti come si è dovuto distinguere un anfiteatro esterno, rappresentato dalla morena frontale incompleta di Calcinato, Montechiaro e Carpenedolo, la quale si avanza isolata nella pianura sei o sette chilometri più a sud del gruppo principale delle morene costituenti l' anfiteatro interno. Queste sono, come dissi, in numero di dieci o dodici almeno, aggruppate in guisa da formare tre grandi cerchi morenici (1). Abbiamo poi veduto come l'anfiteatro del lago di Como presenti tre cerchi morenici distintissimi, e un numero anche maggiore ne offre quello del Lago Maggiore. Anche l' anfiteatro del lago d'Iseo, benchè si riduca quasi per intero alla grande morena della Franciacorta, presenta internamente alcune cerchie minori abbastanza distinte come mostra la Tavola II. Anche la grande morena della Serra, così distinta, diremo, per la sua unità, quando si osservi sulla sommità, principalmente dal lato orientale, dov'è attraversata dalla via che conduce da Ivrea a Biella, ha la forma di un vasto altipiano, formato di tanti rilievi (12 o 13 almeno) paralleli, divisi da altrettante valli parallele. Ciascun rilievo rappresenta la cresta di una morena frontale, e quindi altrettanti periodi di regresso. Tra l' anfiteatro di Garda e quello d'Ivrea non ci sarebbe, per rapporto al fatto di cui ci occupiamo, altra differenza se non questa, che il primo è composto di tante morene ben distinte tra loro fin verso

(1) Vedi pag. 103-104.

la base, dove però anch'esse si confondono in una; mentre il secondo si compone di tante morene fuse insieme fin presso la sommità di ciascuna, dove soltanto appajono distinte.

In seguito a questo grande periodo di sosta o piuttosto di brevi regressi alternanti con altrettante lunghissime soste, i ghiacciai eseguirono una ritirata, relativamente parlando, rapida e quasi continua. Dagli anfiteatri morenici infatti si sale fino ai limiti attuali dei ghiacciai alpini senza incontrare altre morene frontali, o almeno senza incontrarne di tali che accennino ad altri periodi di sosta paragonabili per la durata a quello che abbiamo descritto. Soltanto nell'interno delle valli, nelle regioni più elevate, a poca distanza dagli attuali limiti dei ghiacciai, si incontrano delle vecchie morene frontali, talvolta molto poderose. Evidentemente i ghiacciai, prima di ridursi entro gli attuali confini, vollero dare le ultime prove della loro potenza, edificando delle morene, le quali indicano certamente periodi di sosta che durarono più secoli. Quelle morene, assolutamente alpine, corrispondenti ai confluenti già divisi degli antichi ghiacciai, sono molto giovani in confronto dei grandi anfiteatri che questi hanno formato ai confini delle attuali pianure. Probabilmente l'uomo aveva già preso possesso delle Alpi quando venivano sorgendo. Nessuno però, ch' io mi sappia, le ha fatte soggetto di studio finora. Le morene nell'interno delle Alpi di cui si conosce l'età, sono morene storiche.

Il regresso degli antichi ghiacciai fu accompagnato da avvenimenti che modificarono profondamente le condizioni dell'Italia, non solo, ma di tutto il globo. Vogliamo tosto occuparcene.

XV.

PERIODO DEI TERRAZZI

IN CORRISPONDENZA COL REGRESSO DEGLI ANTICHI GHIACCIAI

1.° Generalita' sui fenomeni che caratterizzano il periodo dei terrazzi.

All'epoca glaciale, caratterizzata dall'avanzamento di tutti i ghiacciai del globo ben oltre i loro limiti attuali, tenne dietro un'epoca, caratterizzata pur essa da due fenomeni, egualmente continentali, egualmente universali, e sono: 1.° Un ulteriore sollevamento degli attuali continenti; 2.° l'erosione dei detriti fluviali o glaciali, che durante l'epoca glaciale si distesero sulla superficie degli stessi continenti. Le coste, per effetto dell'azione del mare combinata con quella del sollevamento, presero la forma di terrazzi: ugualmente le masse detritiche, alluvionali o glaciali, rimasero terrazzate per l'azione erosiva delle correnti di terra. All'epoca postglaciale conviene adunque per ogni verso il nome di *epoca* o di *periodo dei terrazzi*, già acconsentitole dagli autori (1).

Il primo fenomeno caratteristico dell'epoca dei terrazzi è un fatto già sancito, almeno per quanto riguarda l'Europa. Abbiamo già infatti avuto occasione di avvertire in quest'opera, ed avevo ampiamente dimostrato nel mio Corso di geologia, come le diverse terre europee erano ancora in parte sommerse durante l'epoca glaciale; come le coste attuali, formanti allora un littorale sottomarino, furono sottomesse all'azione erosiva dei ghiacciai che si spingevano in mare; come, col ritirarsi dei ghiacciai, sui fondi lisciati e striati si deposero sedimenti detritici con organismi marini; come finalmente un sollevamento delle coste portò quei letti marini a considerevoli altezze sul livello del mare. Questo sollevamento fu di 300 a 400 metri per l'Inghilterra, di 157 per la Scozia, di 180 per l'Irlanda e la Scandinavia (2). Altrove, se il concorso dei fossili marini cogli indizii dell'azione glaciale non attesta immediatamente il sollevamento postglaciale, questo non riesce però meno certo, trattandosi pur sempre di depositi marini di data assai recente, caratterizzati altrimenti come glaciali e sollevati ugualmente a considerevoli altezze.

Il fenomeno si ripete nell'America settentrionale, ed anche a più vasta scala. Nel Canadà, per esempio, i depositi recenti di conchiglie marine si scoprono a

(1) Veramente col nome di *periodo dei terrazzi* Dana ed i geologi in genere intesero unicamente di accennare quel periodo in cui si formarono i terrazzi alluvionali per l'erosione delle antiche alluvioni. Ma anche le coste marine furono nella stessa epoca terrazzate; per cui il nome di *epoca dei terrazzi* è doppiamente giustificato.

(2) Vedi per maggiori particolari il mio *Corso di Geologia*, Vol. II, § 1169-1174.

580 metri sul livello del mare, e i lidi marini con marine conchiglie di specie tuttora viventi si elevano a grandi altezze dovunque.

Gli indizii del sollevamento post-glaciale si rivelano anche nell'America meridionale. In Patagonia, in fondo alla baja di San-Blas, si trovano conchiglie marine, appartenenti a una quindicina di specie viventi su quel littorale, sollevate a 10 metri sopra il livello del loro abitato attuale, a 4 chilometri dal mare. Esse conservano la loro stazione normale. Sette metri più in alto scorgesi l'antico lido. Una quantità di conchiglie, di specie che vivono attualmente ne' mari vicini, si incontrano nei dintorni di Avana, a Cuba, alla Guadalupa, e in molte altre località delle Antille. La stessa cosa si presenta ad Arica ed a Cobija, sulle coste del Grande Oceano. A Montevideo, proprio nella città, e al Cerro, si trovano fossili le conchiglie della costa marina dell'estuario della Plata. Tutti gli esempii citati sono riportati dal d'Orbigny (1), e attestano un sollevamento assai recente, riferibile probabilmente, almeno in parte (come è il caso di quasi tutto l'antico continente) all'epoca attuale.

Il terrazzamento delle coste, fenomeno che si presenta in un gran numero di località, è anch'esso un testimonio di sollevamento assai recente. L'azione dei flutti contro le coste rocciose, non protette da un delta o da una spiaggia, dà alle coste stesse la forma di pareti verticali, che piombano od anche strapiombano sul mare. Essa per sè non potrà tuttavia foggiarle a gradinata. Per ottener ciò bisogna che avvenga un sollevamento, sicchè la parete littorale si interni, e il lido emerso formi un piano al piede di quella parete. Il mare, scagliandosi contro di esso, si formerà una nuova sponda, in forma pur essa di verticale parete, e così avremo un primo gradino. Se si ripete il sollevamento, ne avremo un secondo, poi un terzo, e così via via. Le coste terrazzate, ossia a gradinata, indicano adunque sollevamento (2). Le attuali coste, per es., quelle della Morea, della Sicilia, della Calabria, lo sono frequentemente. Dissi che il terrazzamento delle coste indica un sollevamento abbastanza recente. Supponiamo infatti che, avendo una costa acquistato, a furia di sollevamenti, la forma d'una gradinata, dovesse aver luogo un periodo lunghissimo di sosta. Il mare, infuriando contro il più basso gradino, finirebbe a demolirlo. Demolito il primo, passerebbe al secondo, poi al terzo, finchè non rimanga che una grande parete, che sommi le altezze di tutti i gradini distrutti. Se la gradinata esiste, è segno adunque che non corse troppo lungo tempo dall'ultimo sollevamento a noi. Del resto le gradinate della Sicilia e della Calabria intaccano i terreni più recenti, e nominatamente quella potente formazione di calcaree marine, che rappresenta a Palermo l'epoca glaciale; sicchè il sollevamento si deve ritenere come avvenuto indubbiamente in epoca postglaciale.

Esaminato il primo dei fenomeni caratteristici del periodo dei terrazzi, cioè il sollevamento postglaciale dei continenti e il conseguente terrazzamento delle coste, ci rimane l'analisi del secondo, cioè del terrazzamento delle grandi regioni alluvionali.

Il fenomeno dei terrazzi alluvionali è fenomeno mondiale. Si verifica invero generalmente, cioè almeno per l'Europa, per l'America e per qualche parte dell'Africa, questo fatto, che i letti attuali dei fiumi non si trovano già al livello delle proprie alluvioni con quelle modalità che sono portate dal regime delle correnti, ma ad un livello di molto inferiore. Mi spiegherò meglio. Ammesso che le correnti sieno soggette ad un certo regime costante; che vi sia cioè un certo equilibrio tra le magre e le piene, e sia stabilita una media delle pioggie annuali approssimativamente costante; le correnti, ove cominciano le loro dejezioni, debbono rialzare il proprio letto, a meno che non siano, o naturalmente o artificialmente incanalate, in guisa che la piena spazzi ciò che la magra

(1) *Cours élément. de Paléont. stratigr.*, Vol. II, pag. 830-840.

(2) La teoria del terrazzamento delle coste per effetto del loro sollevamento è ampiamente trattata nel mio *Corso di Geologia*, Vol. III, § 512-518.

depone, e si stabilisca quella specie di *equilibrio mobile* di cui ho parlato altrove (1). Il rialzamento del letto e del piano alluvionale avviene, ad ogni modo, nelle pianure, nelle valli aperte, ove le dejezioni devono vincerla sulle erosioni, a meno che non si ricorra ad artificiali arginature (2). Ne avviene di conseguenza che la corrente deve trovarsi continuamente a livello delle proprie dejezioni; anzi il suo alveo ne occuperà la parte più alta, come ho pure spiegato. Ciò invero si verifica pel Mississipì, pel Nilo, pel Gange, pel Po, per tutti i fiumi del mondo, nell'ultimo tronco a cui, più propriamente, si dà nome di *delta*. Ma se rimontiamo quelle grandi correnti, la cosa cambia totalmente d'aspetto. Ciò almeno si può asserire dei fiumi d'Europa e dell'America settentrionale, mentre non possiedo che scarse notizie circa i fiumi dell'Asia e dell'America meridionale, ecc. Rimontando adunque le correnti, vedesi il fiume incassarsi, e il piano alluvionale stendersi ad un livello superiore, cui non si raggiunge che salendo un pendio, o più spesso un vero gradino tagliato nello stesso terreno alluvionale. Più si sale da valle a monte e più il fiume si tien basso e incassato, e più il piano alluvionale si tien alto. Più non basta un gradino, ma ce ne vogliono due, tre, dieci, ovvero un gradino alto, tagliato a picco, ed equivalente a due, a tre, a dieci. Il fenomeno si dilata ai confluenti; anzi spesso si esagera in essi confluenti, i quali veggonsi così sovente incassati profondamente entro una massa alluvionale d'enorme spessore. Che più? talvolta, a quello che si direbbe piano alluvionale sovrastano certi lembi di terreno pure alluvionale, ridotti più volte ad occupare alcuni seni angusti entro la valle, o a tenersi, in certa guisa, appiccicati alle rupi: ma anch'essi ad ogni modo mostrano come il piano alluvionale una volta giungeva fin là a 50, a 100 metri sopra il livello attuale del fiume.

Il bacino del Po si può prendere come tipo di ciò che si direbbe *bacino idrografico terrazzato*. Partendo dalle sponde dell'Adriatico, e internandosi per circa 100 chilometri, secondo Zollikoffer (3), il delta, ossia la pianura del Po, si rialza d'un tratto, e il fiume si trova incassato nel terreno alluvionale. Eccoci al primo terrazzo. Rimontando la corrente, il Po va sempre più infossandosi in rapporto alla pianura che invece si alza. Al primo terrazzo succede un secondo, al secondo un terzo, e così via via. La gran pianura padana non offre già un piano inclinato continuo, ma una immensa gradinata, ove ogni gradino è una vasta pianura. Si osservi, per es., quel tronco di Po che scorre dalle vicinanze di Pavia a Piacenza, e vedrassi come esso serpeggi quasi nel fondo di una conca, le cui sponde sono elevate a sistema irregolare di gradini. È magnifico, per es., il terrazzo che per miglia e miglia fiancheggia il Po a sinistra, spiccandosi dalla collina di S. Colombano, sovrastando alle bassure di Chignolo, finchè è interrotto dal Lambro, incassato egli pure fra due terrazzi.

Il sistema dei terrazzi del Po si complica senza misura e attinge il suo massimo di altezza nella regione dei confluenti, ove si divide in altrettanti sistemi speciali, quanti sono gli stessi confluenti. I profili delle ferrovie mettono in evidenza i particolari di questi sistemi. Il signor Mortillet presentò in proposito una Memoria alla *Società geologica di Francia*, con annessa una tavola dove sono delineati a scala proporzionale i terrazzi dell'Adda, del Serio, del Cherio, dell'Oglio, ecc. Nelle figure 73, 74, 75 presento io pure alcuni profili dei nostri fiumi, persuaso che essi valgano meglio di ogni descrizione a dare al lettore un'idea del modo così uniforme e pur così vario del fenomeno. Difficilmente i terrazzi si corrispondono con certa simmetria di numero, d'estensione, di altezza sulle due sponde. Avremo, per es., una sponda tagliata a gradini regolari, che discendono dalla massima altezza del piano, fino al pelo della corrente. Sull'opposta sponda invece non potremo numerare che un solo gradino di un'altra altezza equivalente alla somma di quelli che si trovano sull'altra sponda. Talora i gradini sono assai bassi, accen-

(1) V. *Corso di Geologia*, Vol. I, § 188.
(2) *Ib.* § 188.
(3) Zollikoffer, *Beitrage zur Geologie der Lombardie.*

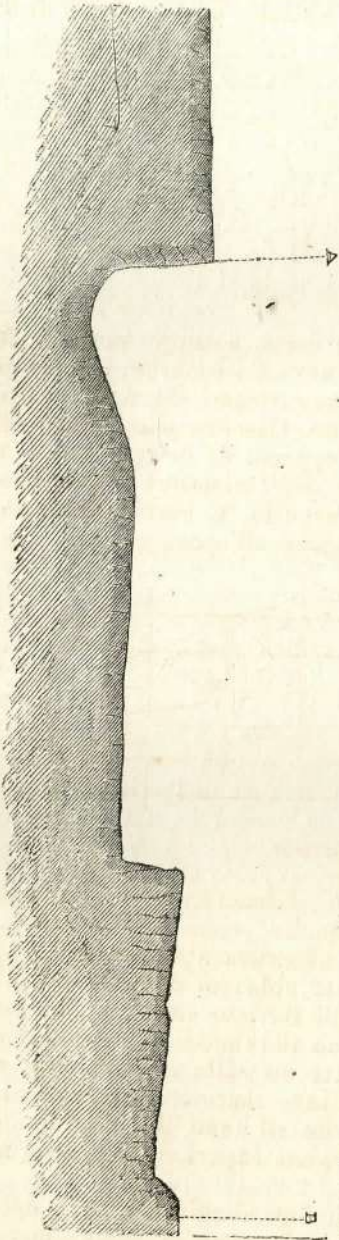
nati appena; talora sono altissimi, come quello della Stura presso Cuneo, che sovrasta di 65 metri al livello del fiume, e quello del Ticino a Tornavento, che ha un'altezza di 110 metri (1). Come il gradino è talora assai basso, così può essere estremamente angusto; talvolta invece merita il nome di pianura per la sua vastità. Infine non v' ha sistema in cui, più che in quello dei terrazzi, domini l'accidentale.

Fig. 73. — Terrazzi dell'Adda a Cassano. *A* Stazione di Cassano. *B* Stazione di Treviglio.

Come la regione del Po, così tutte, credo senza nessuna eccezione, sono terrazzate le regioni alluvionali del globo. Il signor Edward Hitchcock (2), dopo aver descritto il maraviglioso sistema dei terrazzi dell'America settentrionale, e principalmente della gran valle del Connecticut, aggiunge tali osservazioni sulle diverse regioni d' Europa e sulle isole dell'arcipelago indiano, che bisogna veramente conchiudere, il terrazzamento delle regioni alluvionali essere un fenomeno universale.

La formazione dei terrazzi alluvionali è veramente, come vogliamo considerarla, un fenomeno postglaciale? Nulla di più facile che il provarlo. Noi vogliamo anzi dimostrare come il terrazzamento dei terreni detritici superficiali, alluvionali o glaciali, ebbe principio precisamente allora, quando i ghiacciai, attinto il massimo grado di avanzamento, eretti i loro enormi anfiteatri allo sbocco delle valli alpine, si battevano in ritirata, abbandonando ai fiumi il terreno che avevano invaso.

Abbiamo or ora accennata la valle del Connecticut come forse la regione più classica pel fenomeno dei terrazzi. Internandoci in quella valle, ci presenta essa un tal genere di paesaggio, che riesce affatto nuovo e originale all' occhio di un Europeo. I colli, i monti, che fiancheggiano la valle, mostransi tagliati a guisa di enormi gradinate, che corrono egualmente sui due fianchi, continuano nei seni, si internano nei confluenti. Non è la roccia del monte che sia così foggiata, come è il caso già osservato delle gradinate degli anfiteatri della Sicilia; ma è puro detrito che la montagna riveste e in tal guisa la foggia.

I terrazzi hanno la forma di grandi cornici, appiccicate alla roccia del monte, che si trova scavando a poca profondità, o anche vi affiora talvolta; e constano di terreni mobili, cioè di argille, di sabbie, di ghiaje con ciottoli, ecc. Il numero di questi terrazzi è di due, di tre e fin di tredici. I più bassi sono anche i più regolari; constano di detrito argilloso, distintamente stratificato. Mano mano che ci alziamo, gli elementi ingrossano e la forma è meno nettamente accusata. — Ad una certa altezza scopronsi sabbie grossolane, con ciottoli arrotondati. Per dare un'idea della distribuzione e delle proporzioni di quei terrazzi accenniamo come nella valle del Connecticut si presentino essi già in riva al mare, uno all' altezza di 14 piedi sul livello del mare, l' altro a 119. Nell' interno della valle i terrazzi

(1) Zollikoffer, *Op. cit.*
(2) Edward Hitchcock, *Illustrations of Surface Geology*, Washington, 1857.

spesseggiano; e se il più basso è a 7 piedi sul pelo del fiume, il più alto è a 1667 piedi sullo stesso livello, cioè fino a 2073 piedi sul livello del mare. Sul Fort-River troviamo 9 veri terrazzi, di cui il più alto è a 383 piedi: seguono due *lidi*, l'uno a 921, l'altro a 1049 piedi di altezza.

Hitchcock distingue col nome speciale di *lidi* i terrazzi più alti, quelli cioè che trovansi composti di detriti più grossolani e di ciottoli, sembrandogli di tro-

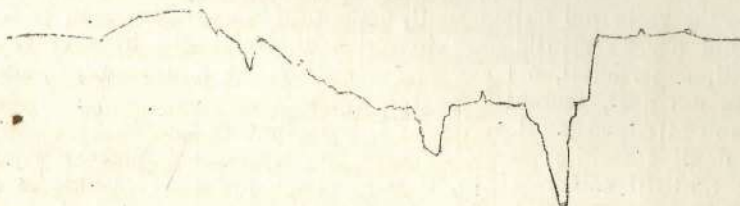



Fig. 74. Terrazzi del Brembo a Ponte S. Pietro.

vare della somiglianza tra quei terrazzi ciottolosi e certe spiaggie marine. Ma, notate bene, non vi accenna neppure una traccia di organismi marini, mentre pure nel Nord America abbondano i veri lidi marini, caratterizzati da fossili marini, indizio, come abbiam detto, di sollevamento postglaciale. Osserva però l'autore che, da quei superiori terrazzi in su, le montagne sono coperte di *drift*, ossia di terreno morenico (1), e che quei terrazzi constano di *drift rimestato.* Io credo si dovrà dire *drift terrazzato,* per ciò che diremo in seguito. È certo però intanto che il terrazzamento è posteriore all'epoca del *drift,* cioè all'epoca glaciale, comin-

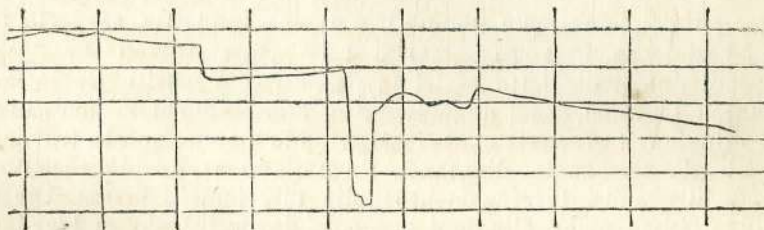



Fig. 75. Terrazzi dell'Oglio a Palazzolo.

ciando appunto col modificare (comunque si spieghi il fenomeno) lo stesso *drift.* Se noi vogliamo domandare in che sia consistita quella prima modificazione del *drift,* cominciamo ad escludere affatto l'idea di un rimestamento operato dal mare. Oltre che non vi si trovano organismi marini, come abbiamo detto, noi vediamo come il mare, fattore dei terrazzi superiori, sia poi rimasto estraneo alla formazione degli inferiori, che lo stesso Hitchcock ritiene alluvionali. La formazione di quei lidi marini superiori indicherebbe naturalmente un sollevamento, per cui il mare dovette successivamente abbassarsi entro il seno marino che si andava convertendo in valle. Ma in questo caso sarebbero rimasti tanti lidi marini, quanti furono i periodi di sollevamento; e, non solo i gradini superiori, ma tutta la gradinata da cima a fondo sarebbe composta di lidi.

Io credo che le montagne terrazzate, le quali fiancheggiano la valle del Connecticut, se non sono anche in parte morene, sono ricoperte di detrito morenico, come quelle che si trovano sui fianchi, o allo sbocco delle nostre valli alpine, fino al livello ove giungeva l'apparato glaciale. Il terreno morenico, ossia il *drift,* ingombrava la valle principale e i confluenti, come nelle nostre Prealpi, fino ad una certa altezza. Furono i fiumi che spazzarono la maggior parte di quell'ingombro enorme, ed il residuo rimase terrazzato. A valle degli anfiteatri morenici poi sono

(1) Vedi *Corso di Geologia,* Vol. II, § 1322.

le antiche alluvioni fluviò-glaciali che rimasero ugualmente erose e terrazzate. Il Connecticut e i suoi confluenti occupano ora il fondo dell'incavo da loro praticato con lungo lavoro in seno al terreno morenico od alle alluvioni fluvio-glaciali.

Non ardirei così ragionare di fatti, che io non conosco altrimenti che per quanto ne fu scritto, se non trovassi nelle descrizioni e nei disegni di Hitchcock una chiara corrispondenza con quanto ho potuto io stesso osservare e studiare in Lombardia, la quale in alcuni luoghi, quanto al fenomeno dei terrazzi, ha ben poco da invidiare alla valle del Connecticut, come presto vedremo. Non credo del resto ci voglia di più perchè risulti provato ad esuberanza che il terrazzamento dei depositi mobili, superficiali, o siano morenici, o siano alluvionali, è, almeno nella maggior parte dei casi, fenomeno postglaciale.

Vorremmo ora sapere se il periodo dei terrazzi corrisponda veramente a quello del regresso degli antichi ghiacciai. Perchè la risposta sia affermativa basterà dimostrare che tanto il sollevamento, il quale ebbe per conseguenza la formazione dei terrazzi littorali, come il terrazzamento delle alluvioni sono, in genere, fenomeni postglaciali. Ora è certo che tra la comparsa dell'uomo, affermata dalle sue reliquie in formazioni affatto superficiali, e l'epoca glaciale, rappresentata da terreni molto antichi e di grande potenza, ci sono di mezzo appunto questi due fatti, cioè un sollevamento molto considerevole dei continenti, e il terrazzamento delle antiche alluvioni. La cosa è troppo evidente dal momento che sollevati furono gli stessi depositi glaciali che eransi formati in mare, come abbiamo riferito, e che terrazzati, vennero le alluvioni riferibili all'epoca glaciale e gli stessi depositi morenici, come vedremo; mentre nè i depositi glaciali sollevati, nè i terreni morenici contengono reliquie umane, nè vi ha alcun indizio dell'esistenza dell'uomo durante il sollevamento e il terrazzamento, facendo eccezione di alcuni depositi molto più recenti formatisi sulla fine del lunghissimo periodo in cui tanto l'uno quanto l'altro ebbero luogo. Difatti le reliquie umane e d'umana industria scoperte nell'Inghilterra, nella Svezia, ecc. in terreni marini sollevati, si trovano ad un' elevazione non maggiore di due a dieciotto metri (1); mentre i depositi marino-glaciali nel nord dell'Europa trovansi, come abbiam detto, fino ad un'elevazione di 400 metri. Quanto alle alluvioni terrazzate contenenti reliquie umane, queste trovansi deposte in seno a valli già terrazzate, dinotando un periodo molto più recente di quello in cui avvenne il grande terrazzamento delle alluvioni in massa. Ciò si osserva in modo evidentissimo nelle alluvioni con selci lavorate, che si trovano nei dintorni di Roma sul fondo della valle profondamente erosa e terrazzata del Tevere (2); ciò si verifica coll'istessa evidenza in Inghilterra presso *Bedford* (3).

Visto che non evvi indizio alcuno che l' uomo esistesse durante l' epoca glaciale, o nel periodo dei terrazzi che le tenne dietro; visto che, secondo ogni probabilità, l'uomo non venne ad abitare le regioni già invase dagli antichi ghiacciai se non quando essi avevano lasciato liberi i migliori terreni (morene e alluvioni terrazzate) adatti al suo stabilimento; visto che sulle morene, sulle alluvioni terrazzate e sui terrazzi stessi si fondarono le più antiche città e si stabilirono le società primitive; visto finalmente che, per quanti sforzi si sieno fatti per esagerare l' antichità dell' uomo, questi si ostina a rimanere la creatura novissima, la quale non vanta in Europa che un' antichità di tre a quattromila anni; bisogna conchiudere che la scomparsa dei ghiacci ebbe luogo durante un periodo tra la loro invasione e la comparsa dell'uomo, quindi precisamente nel periodo del sollevamento postglaciale dei continenti e della formazione dei terrazzi alluvionali. Mi credo quindi in diritto di affermare che il *periodo dei terrazzi* è la stessa cosa del *periodo di regresso* degli antichi ghiacciai.

Riepilogando: il sollevamento quasi generale dei continenti, il conseguente terrazzamento delle coste, la formazione dei terrazzi alluvionali e il regresso degli

(1) *Corso di Geologia*, vol. I, § 890-892.
(2) *Corso di Geologia*, vol. I, § 1372, 1373.
(3) Idem B. § 1338.

antichi ghiacciai costituiscono un gruppo di grandiosi fenomeni, il quale caratterizza il periodo che corre tra il glaciale propriamente detto e la comparsa dell'uomo. Questo periodo medio si chiama periodo dei terrazzi. Ricordandomi però che qui si tratta specialmente dell'Italia, mi credo in dovere di aggiungere altre specialità alle già accennate per completare il meglio che si possa ciò che riguarda *l'èra neozoica in Italia* che forma l'argomento di questo libro.

2. Sollevamento generale della penisola italica posteriormente al periodo glaciale.

Al grande sollevamento postglaciale che ebbe per conseguenza l'emersione di una parte dei littorali dell'antico e del nuovo mondo, l'Italia non solo ha partecipato, ma è forse quella fra tutte le regioni che vi fu meglio interessata e ci guadagnò maggiormente in estensione. Tra i paesi d'Europa è forse l'Italia quello dove l'epoca pliocenica è rappresentata, salvo eccezioni, da terreni prettamente marini. Ciò vuol dire che il mare, prima del descritto sollevamento, si estendeva di molto tanto sui lati dell'Appennino come ai piedi delle Alpi e delle Prealpi. Del resto la *Tav. I*, mentre rappresenta l'Italia durante l'epoca pliocenica, la rappresenta al tempo stesso quale si trovava durante l'epoca glaciale, prescindendo naturalmente dai depositi glaciali e da quelli che contemporaneamente ad essi si andavano formando. Tutto quanto del resto ha guadagnato in estensione l'Italia posteriormente all' epoca glaciale lo deve, almeno per la massima parte, al sollevamento postglaciale. Essa gli deve buona parte delle sue pianure; gli altipiani premorenici *marino-glaciali;* le morene stesse per la parte che fu formata sotto al mare, poi tutta quella doppia zona di colline (argille e sabbie subappennine) che si allineano alle falde dell'Appennino, così verso l'Adriatico come verso il Tirreno. Tutto questo si deve ad un sollevamento avvenuto dopo l' epoca glaciale, e precisamente nel *periodo dei terrazzi*, ossia mentre i ghiacciai si ritiravano. Se rimanesse qualche dubbio circa l'epoca vera del sollevamento dei terreni subappennini in Italia, questo ci è tolto da ciò che fu scoperto in questi ultimi tempi circa la costituzione geologica degli anfiteatri morenici dell'Alta Italia. Abbiamo veduto infatti ed ampiamente dimostrato che gli antichi ghiacciai dell'Alta Italia discesero a tuffarsi nel mare pliocenico; che sopra il suo fondo gettarono le fondamenta dei loro anfiteatri, quando le argille plioceniche erano ancora in formazione; che l'onda pliocenica continuò a rimestare il detrito glaciale fino al tempo in cui gli anfiteatri che le sorgevano in seno furono ultimati o quasi ultimati. Ora quelle morene marine, coi fondi marini che lor servirono di base, sono sollevate a centinaja di metri sul livello del mare. Il terreno marino-glaciale, per es., tocca ad un'elevazione di 330 metri per l'anfiteatro di Como (1) e fin di 432 metri per quello d'Ivrea (2). Dunque posteriormente alla formazione di quegli anfiteatri vi fu un sollevamento a piedi delle Alpi di 330 a 432 metri. Tutto infine concorre a dimostrare che il sollevamento ebbe luogo tutto all' ingiro dell'Adriatico, per cui esso venne respinto verso mezzodì, perdendo su per giù tutta la regione ora occupata dai terreni *subappennini* pliocenici e glaciali (argille e sabbie gialle, ecc.) dalle antiche alluvioni riferibili alle due epoche, dagli altipiani premorenici, e dalle morene. Il descritto sollevamento non fu però così universale che qualche porzione del littorale adriatico ed anche estese plaghe della regione mediterranea non ne abbiano risentito, o non siano anzi state soggette ad un movimento in senso opposto. Questo secondo caso è quello che si verifica per una considerevole porzione del nostro paese, cioè per le provincie venete.

(1) Vedi sopra, fig. 49, pag. 48.

(2) Richiamo specialmente la nota a pag. 73. I fossili marini furono trovati fino all' altezza di 320 metri a Mazzè: ma la sommità stessa delle morene fu da me vista formata sempre di ciottoli discoidali, cioè di forma marina misti a ciottoli e massi puramente glaciali. Gli spaccati dell'anfiteatro d'Ivrea pubblicati recentemente dal sig. Luigi Bruno, segnano il *terreno pliocenico* (vuol dirsi *marino-glaciale*) fino a 432 metri sul livello del mare.

3. Depressione postglaciale delle provincie venete.

Non so chi sia stato il primo ad accorgersi che, mentre l'Appennino in genere e la regione occidentale a piè delle Alpi offrivano i più manifesti indizi di recente sollevamento, la regione subalpina orientale invece mostrava segni non dubbi di un abbassamento non meno recente. Pare che il primo indizio notato di tale abbassamento sia stato quello della costituzione geologica delle venete lagune, fatta palese principalmente dai pozzi artesiani scavati nel circuito di Venezia. Spinti essi fino alla profondità di 60 a 160 metri, a partire quasi dal livello del mare, non attraversano altro che depositi d'acqua dolce o di laguna. S'incontrarono a diversi livelli, alternanti fra loro, strati torbosi e *suoli*, cioè strati di vegetali terrestri, cresciuti certamente all'aria libera e quindi sommersi. L'area delle lagune fu dunque più volte alternativamente palude, suolo o maremma e laguna: il che vuol dire che dovette abbassarsi gradatamente e ad intervalli, sicchè ciò che era suolo superficiale asciutto divenne laguna e palude, poi suolo di nuovo, e così via via, mentre tutto quel sistema di suoli e di bassi fondi si trova ora sommerso e sepolto da più recenti depositi fino alla profondità di quasi 200 metri sotto il livello del mare. Il sig. Mortillet (1), credo d'accordo con altri, spiega la cosa come effetto d'un graduale sdrucciolamento della pianura veneta in seno dell'Adriatico. Non c'è però nessun fatto che ci possa indurre a preferire lo sdrucciolamento alla depressione per abbassamento, mentre questo è d'altronde dimostrato, come vedremo, per tutte le provincie venete, e risponde al concetto generale che ci dà la Geologia delle oscillazioni telluriche, secondo il quale ad un sollevamento corrisponde sempre un abbassamento e viceversa. In questo concetto sarebbe il sollevamento della Lombardia e del Piemonte quello che corrisponde all'abbassamento della Venezia.

L'abbassamento delle provincie venete risulta in secondo luogo dimostrato da documenti storici. Prescindendo dal protendimento immediato del delta del Po, il quale, stante la quantità dei depositi, potè elidere l'effetto dell'abbassamento del littorale adriatico e riportare su di esso un tale vantaggio che le foci di questo gran fiume si avanzarono entro mare almeno 38 chilometri a partire dall'epoca etrusca, prescindendo, dico, da tale avanzamento, l'Adriatico porta tutti i segni di essersi internato verso terra, il che naturalmente non si spiega che per una depressione del suo littorale. La laguna ha guadagnato terreno dalla parte di Venezia, sicchè i contorni di Adria sono occupati da paludi salse, le quali non erano un tempo così estese. Dicasi lo stesso della laguna di Comacchio; l'antica città di Conca, presso la foce del Crostumio, a 10 miglia da Rimini, è sommersa da molti secoli: l'Adriatico sulle coste della Dalmazia guadagna sopra Zara. Questi fatti sono riportati dal Manfredi citato dal Brocchi. Il pavimento della tomba di Teodorico a Ravenna è depresso sotto il livello del mare. Osservando però come gli antichi edificii della città di Venezia non offrono indizio di abbassamento, bisogna concludere che la laguna abbia già cessato di deprimersi da parecchi secoli. Il Taramelli poi, tra le conclusioni del suo bel lavoro *Dei terreni morenici ed alluvionali del Friuli* mette anche questa, che *per un leggerissimo abbassamento delle spiaggie*, per l'erosione marina e per l'indole delle correnti friulane, il lido in epoca storica, ed anche prima, si è piuttosto ritirato che avanzato.

Un terzo argomento della depressione del littorale veneto si deduce dalla forma delle lagune, le quali s'internano nel continente ed hanno piuttosto la forma di valli che di vere lagune. Chi le osserva infatti è condotto facilmente a pensare che quelle lagune siano letti di fiume, cioè antiche valli d'erosione nella pianura, le quali, abbassandosi il suolo, vennero invase dal mare.

Il migliore argomento però della depressione postglaciale delle provincie venete è lo stesso anfiteatro morenico del lago di Garda, il quale dimostrerebbe

(1) *L'époque quaternaire dans la vallée du Po* (Bull. Soc. Géol., 19 dec. 1864).

di più che tale abbassamento comincia precisamente sulla linea dello stesso lago, in corrispondenza collo spazio occupato dal grande anfiteatro. Chi visita quelle morene, dopo aver studiato i grandi anfiteatri della Lombardia e del Piemonte, non può non rimanere stupito della loro poca elevazione in confronto del loro enorme sviluppo frontale e della potenza straordinaria del ghiacciajo che le ha formate. L'anfiteatro di Garda, per lo sviluppo della sua fronte, è senza confronto il massimo degli anfiteatri italiani. Se poi si confrontano i bacini degli antichi ghiacciai della Dora Baltea, del Lago di Como, ecc., con quello che prestava alimento all'antico ghiacciajo del Lago di Garda, risultante dalla confluenza dei tre grandi ghiacciai del Chiese, della Sarca e dell'Adige, non avrà difficoltà ad ammettere che questo antico ghiacciajo doveva essere senza confronto il più enorme. Come fabbricò un anfiteatro che è il più grandioso per lo sviluppo della fronte e pel numero delle cerchie ond'è composto, doveva anche dare alle sue morene un'altezza molto maggiore di quella che si osserva per le morene degli altri anfiteatri che gli rimangono in tutto il resto molto al disotto. Quello che si verifica è invece perfettamente il contrario. Misurando le morene dei diversi anfiteatri sull'arco frontale più avanzato verso la pianura dove l'elevazione è minima per tutti gli anfiteatri ugualmente, trovo le differenze che risultano dalla seguente tabella:

Massima elevazione della fronte morenica

Dell'anfiteatro d'Ivrea	sopra il livello	della Dora	140m	sopra il livello del mare	206m
Dell'anfiteatro di Como	»	del lago	170m	»	368m
Dell'anfiteatro di Garda	»	»	40 a 140m	»	100 a 206m

Le cifre di 40 metri sopra il livello del lago di Garda e di 100 metri sul livello del mare riguardano la cerchia esterna, mentre riguardano l'interna quelle di 140 e 206 metri. Notisi poi che quest'ultime sono date dalla collina di Solferino, la quale è elevata appunto 206 metri sul livello del mare. Ma tale elevazione è affatto eccezionale per l'anfiteatro di Garda, il quale per lunghi tratti di fronte non si eleva che di 30 a 40 metri sulla sottostante pianura. Non vogliamo confonderci con dei calcoli pei quali ci mancherebbero molti elementi: il fatto però che le morene di Garda, mentre dovrebbero essere molto più elevate, sono enormemente più basse, è troppo significante, perchè chichessia non si senta disposto ad attribuirne la ragione ad un abbassamento del suolo posteriormente alla formazione dell'anfiteatro. Supponiamo che i grandi ghiacciai delle Alpi sboccassero, come io credo, tutti in mare: che il littorale avesse ad un dipresso la stessa profondità a piedi delle Prealpi; che finalmente lo stesso littorale fosse stato soggetto a quello stesso sollevamento che per la Lombardia ed il Piemonte è così accertato. Certamente le morene frontali degli antichi ghiacciai dovrebbero avere tutte su per giù la stessa elevazione, salvo una differenza in più od in meno corrispondente alla potenza comparativamente maggiore o minore dei singoli ghiacciai. Meno elevate dunque dovevano essere le morene d'Ivrea di quelle del lago di Como, e queste delle morene del Garda, le quali dovevano superare tutte le altre di un grado ben considerevole d'altezza. Se le morene di Como si elevano 368 metri sul livello del mare e 170 su quello del rispettivo lago, quelle di Garda avrebbero dovuto elevarsi sul livello del mare almeno 600 o 700 metri, e su quello del rispettivo lago almeno 400 o 500. Com'è dunque che esse raggiungono appena $^1/_3$, $^1/_6$ e anche soltanto $^1/_{10}$ di tali elevazioni? Una delle due: o il mare che occupava allora il lago di Garda e lo spazio del suo anfiteatro era molto più profondo (almeno 500 o 600 metri) di quello che corrispondeva al lago di Como; o le morene del Garda stettero ferme, o anzi si abbassavano, mentre si sollevavano quelle di Como e d'Ivrea. Se non ci fossero altri argomenti per dimostrare l'ultimo dei supposti non saprei come uscir dal bivio: ma siccome, tra quelli citati e quelli da citarsi, ce n'è a dovizia, dobbiamo ritenere che la poca elevazione dell'anfiteatro

di Garda è altra delle prove che, mentre un sollevamento postglaciale aveva luogo ad occidente, ad oriente invece il suolo, o fondo marino che si voglia dire, rimase stazionario ed anzi si abbassò. Ammesso, come si deve ammettere, questo abbassamento postglaciale, la differenza d'altezza tra la cerchia esterna, ch'è tanto più bassa, e l'interna, che è tanto più alta, starebbe a dimostrare l'abbassamento essere avvenuto con una possibile inclinazione da nord a sud, per cui la cerchia esterna più avanzata verso mezzodì si sarebbe abbassata un centinajo di metri più dell'interna. È quindi molto probabile che la mancanza dell'arco ad est dell'anfiteatro esterno del lago di Garda, il quale si compone soltanto di un arco ad ovest, non rappresentante che una porzione di 30 chilometri circa del grand'arco frontale che doveva misurare almeno 100 chilometri, è molto probabile, dico, che questa mancanza debba attribuirsi, non già ad una demolizione avvenuta posteriormente alla sua formazione, ma alla scomparsa per sommersione prodotta dall'abbassamento per cui anche scomparve più ad est l'intero anfiteatro della Piave (1). Avremmo così un'altra prova molto convincente dell'abbassamento delle provincie venete.

Ma l'anfiteatro di Garda ci offre altre prove di tale abbassamento. Gli anfiteatri di Como e d'Ivrea ci offrono gli argomenti più sicuri del loro sollevamento nella loro natura marino-glaciale. Il primo si formava sotto il mare fin verso la sommità; il secondo tenne sommersa la sua fronte fino al tempo in cui l'edificio morenico era compiuto. L'anfiteatro del lago di Garda non mostra nulla di marino anche alle sue basi fin dove riescono visibili. Le sue morene sono terrestri: il che vuol dire che di esse non ci rimane che quella porzione la quale venne formata quando già il rispettivo mare era stato riempito dalla morena di fondo.

Un altro fatto notevolissimo e assolutamente decisivo nel nostro senso è il difetto di un altipiano premorenico, il quale distingue, dirò, sostanzialmente l'anfiteatro di Garda dagli altri della Lombardia e del Piemonte. Perchè tra la pianura e l'anfiteatro non ci sarebbe un grande altipiano il quale, come la Groana per l'anfiteatro di Como, rappresentasse il fondo marino che si distendeva a valle del ghiacciajo, e venne quindi posto all'asciutto in conseguenza del sollevamento postglaciale (2)? Se il fondo marino non appare a valle dell'anfiteatro di Garda, bisogna dire che non ne avvenne il sollevamento, o piuttosto che venne, come risulta dal complesso delle prove, abbassato (3).

Fatto sta che dalle morene, relativamente assai basse, si discende immediatamente sulla pianura la quale dalle loro basi discende regolarmente con lento pendio fino al Po. Alla base dello stesso anfiteatro, tanto all'interno come all'esterno, si distende un'alluvione cretosa (4), la quale non è altro certamente che il prodotto della lavatura del terreno morenico, sparso internamente ed esternamente, operata dalle acque pluviali e dalle correnti che discendevano e discendono da quel vasto rilievo morenico. Così le basi dell'anfiteatro furono coperte da un terreno più recente, postglaciale ed in parte attuale, fabbricato a spese dello stesso terreno glaciale. Ciò non avvenne per gli anfiteatri di Como e d'Ivrea, i quali, essendo molto elevati sul livello del mare, obbligarono le correnti ad incidere il suolo profondamente, mettendo a nudo entro le incisioni le basi glaciali-marine, e fin le argille plioceniche che stanno sotto di esse, e lasciando scoperti le basi stesse delle morene e gli altipiani premorenici di cui l'anfiteatro di Garda è affatto mancante.

(1) Vedi la descrizione dell'arco esterno dell'anfiteatro di Garda a pag. 103.

(2) Vedi sopra a pag. 177 il paragrafo sull'origine della Groana e in generale sull'origine glaciale-marina dei terrazzi premorenici dell'Alta Italia.

(3) Il prof. Enrico Paglia nel suo *Saggio di studî naturali sul territorio mantovano*, opera importantissima in corso di stampa, accenna alcuni aculei di echinidi scoperti nella morena lungo la via che da Valeggio discende al ponte di Monzambano sul Mincio. Essi sembrano appartenere ad un terreno molto più antico (probabilmente al miocene) e lo stesso Paglia è d'avviso che appartengano a qualche masso miocenico incluso nella morena.

(4) Questa alluvione cretosa è con molti interessanti particolari descritta nella citata opera del prof. Paglia.

Il complesso di questi fatti mi conduce a considerare il lago di Garda come quello che disegna l'asse di un'altalena, cioè di una doppia oscillazione, la quale avrebbe avuto luogo nel senso di un abbassamento ad est e di un sollevamento ad ovest del suddetto lago anteriormente all'epoca glaciale, e nel senso opposto posteriormente. È un fatto che dalla parte d'oriente non c'è traccia di terreno pliocenico marino nel Vicentino, nel Veronese, nel Friuli insomma in nessun punto delle provincie venete al di là del lago di Garda; mentre detto terreno esiste dovunque e ben sviluppato ad ovest dello stesso lago in Lombardia e in Piemonte. Conseguenza necessaria da dedursi è questa che durante il periodo pliocenico la Venezia era già tutta sollevata ed asciutta, mentre la Lombardia e il Piemonte erano ancora sommersi. Questo stato di cose per l'Alta Italia persisteva durante l'epoca glaciale. Mentre dalla parte della Lombardia e del Piemonte i ghiacciai spinsero in mare le rispettive fronti; quelli della Venezia ricoprirono il *ceppo*, ossia i conglomerati che vi rappresentano le alluvioni plioceniche, secondo gli studi accuratissimi del Taramelli. Lo stesso autore non mette in dubbio che avanti e durante l'epoca glaciale la pianura friulana non fosse molto più estesa verso il mare che non lo sia al presente. La mancanza d'un cordone littorale che corrisponda al periodo degli anfiteatri morenici accenna, secondo lui, ad una depressione postglaciale, per la quale le tracce del littorale glaciale vanno cercate sotto il mare Adriatico. Il cordone littorale che chiude attualmente la laguna è evidentemente di data postglaciale benchè preistorica (1). La Tav. I segna sotto l'attuale Adriatico nelle vicinanze di Trieste le antiche alluvioni glaciali, che vennero sommerse, come risulta da egregie osservazioni del citato Taramelli. Bisognerebbe leggere i suoi lavori originali, mentre qui non ci è permesso di entrare in certi dettagli. Debbo dire però che in complesso le conclusioni del signor Taramelli mi sembrano vere, anzi evidenti. Ad ovest del lago di Garda la scena si cambia affatto e così subitamente, che bisogna dire che esso lago è come una linea che separa due ordini di cose affatto diverse, benchè riferibili agli stessi tempi. Il terreno pliocenico marino compare subito ad ovest dell'anfiteatro nelle colline di Ciliverghe e di Castenedolo, prettamente plioceniche, le quali emergono, come dice il Paglia (2), dal piano alluvionale quasi isole in un mare di ciottolame. Quelle masse plioceniche sorgono pressochè all'altezza delle morene, a cui stanno quasi di fianco; ma trovandosi esse nell'intervallo tra i due anfiteatri di Garda e d'Iseo, e non essendo giunto fin laggiù il ghiacciajo del Chiese, rimasero scoperte; nè ricoperte esser poterono dalle susseguenti alluvioni (3). Che dicono quelle colline in quel posto? Evidentemente che, cominciando da quel posto, cioè immediatamente ad ovest del lago di Garda, il mare si avanzava fino ai piedi delle Prealpi, raggiungendovi anzi una considerevole profondità. Che poi i fondi pliocenici siansi sollevati posteriormente alla formazione degli anfiteatri pliocenici, è cosa che sappiamo da lungo tempo, come sappiamo ormai che le terre plioceniche ad ovest dello stesso lago di Garda si abbassarono e per gran parte si sommersero.

Tutto ciò non toglie che il lago di Garda esistesse come *fiord*, e si allargasse a guisa d'imbuto in mare, come mostra ancora la sua forma, che è quella di una valle stretta a nord tra montagne a picco, che si allarga a sud, dove le montagne si arrestano, e dove anche attualmente il lago si aprirebbe in mare, se non ci fosse di mezzo il rilievo relativamente così poco considerevole e tutto recente dei terreni morenici ed alluvionali. Non solo il fiord sarebbe esistito, e avrebbe servito di letto all'antico ghiacciajo; ma ancora in oggi, convertito com'è in valle e parzialmente in lago, ci rappresenta assai bene una spaccatura profondissima, probabilmente molto antica, la quale avrebbe rese indipendenti le montagne ad est da quelle ad ovest, e permesso alle prime di abbassarsi e alle altre di sol-

(1) Taramelli, *Dei terreni morenici ed alluvionali del Friuli.*

(2) *Saggio di studi naturali*, ecc., pag. 222.

(3) La collina di Ciliverghe è però, dice il Paglia, ricoperta in parte di detrito glaciale. Penso che ciò si riferisca puramente alla base di quella collina, ed è molto probabile che quel detrito glaciale segui quel primo periodo di massimo avanzamento, di cui si è discorso nel precedente capitolo.

levarsi. Si ricordi che il lago di Garda si sprofonda fino a 800 metri sotto il livello del mare, con sponde a picco, offrendo il tipo più perfetto di una chiusa, o spaccatura, la quale d'altronde non è che la porzione estrema inferiore di un sistema di tre grandi valli di chiusa, o spaccature confluenti che sono il Chiese, la Sarca e l'Adige (1). Il fianco est di quella spaccatura, abbassandosi dopo l'epoca glaciale, avrebbe condotto seco in basso tutto l'anfiteatro morenico e fatto scomparire quasi per intero più ad est l'anfiteatro della Piave. Il fianco ovest dell'istessa spaccatura si sarebbe invece alzato, facendo emergere e sollevando molto al disopra del livello marino il terreno glaciale-marino non solo, ma anche le sottostanti argille plioceniche. Non è chiaro che tra le colline moreniche dell'anfiteatro di Garda ad ovest, e le colline plioceniche di Ciliverghe e di Castenedolo ad est c'è un salto? Come mai altrimenti potrebbe da una parte apparire a nudo e a tanta altezza il terreno marino, e tosto dall'altra parte non trovarsene nemmeno un lembo, anche dove le correnti hanno profondamente inciso le basi dell'anfiteatro morenico?

Ma i bracci dell'altalena, per cui si sono sollevate le provincie venete da una parte nell'epoca pliocenica, mentre dall'altra si abbassavano la Lombardia e il Piemonte, poi, posteriormente all'epoca glaciale, si sarebbero sollevati questi ed abbassate quelle, i bracci dico di questa altalena dovrebbero prolungarsi ben oltre la Venezia ad est e il Piemonte ad ovest, talmente che si spingessero da una parte fino al mare Jonio e fino al Mare del Nord dall'altra.

Nel mio *Corso di Geologia* (2) ho inteso a dimostrare come molti depositi in Germania, impropriamente ritenuti miocenici, sono invece pliocene-marino. Ciò vuol dire che nell'epoca pliocenica il mare del Nord si avanzava ancora ben addentro terra, spingendosi fin verso le radici settentrionali delle Alpi. D'altra parte risulta che il grande rilievo peninsulare che si stacca a mezzodì delle grandi depressioni terziarie del nord d'Europa, e comprende l'Istria, la Dalmazia, la Morea, la penisola Greca, l'Arcipelago, ecc., era quasi interamente prosciugato nell'epoca pliocenica. Solo alcuni lembi pliocenici marini sono indicati in Grecia dal D'Archiac. Posteriormente al periodo pliocenico la Germania, e tutto il Nord Europa in genere subirono, come parzialmente si è già detto, quel sollevamento che abbiam veduto coincidere coll'epoca glaciale.

La forma invece dell'Arcipelago e delle grandi appendici peninsulari che si prolungano nel mare Adriatico e nel mar Jonio cominciando dalla Dalmazia, e terminando verso il mar di Marmara, ha già suggerito a molti l'idea che si tratti di un continente disfatto: disfatto nel senso che, abbassandosi in epoca relativamente recente, non ne sarebbero rimasti che i maggiori rilievi, andando invece sommerse le spiagge e le bassure le quali furono occupate dal mare (3).

Le isole della Dalmazia e dell'Arcipelago rappresenterebbero in questo caso cime di monti e creste di catene di monti le quali, riunite alla base nell'epoca

(1) Il mio amico Taramelli mi ha ultimamente manifestata l'idea che il lago di Garda rappresenti, piuttosto che una *chiusa*, una gran *piega sinclinale* con spezzatura. In questo caso esso lago si assomiglierebbe, anche per riguardo all'origine, al Mar Morto, di cui ha un pochino la configurazione. Le condizioni geologiche dei due bacini però, specialmente i loro rapporti colle rispettive catene, sono affatto diversi, anzi opposti, sicchè m'ostino a considerare il lago di Garda come una chiusa. Fosse però anche una *sinclinale*, ciò non invaliderebbe per nulla quanto diciamo riguardo alla parte rappresentata dal lago di Garda nel sistema delle più recenti oscillazioni dell'Italia e del continente europeo.

(2) *Corso di Geologia*, Vol. II, cap. XV.

(3) Nella recentissima monografia degli stambecchi fossili e viventi pubblicata dal Dott. Forsyth Major negli *Atti della Società Toscana di scienze naturali* trovo indicato un fatto eminentemente favorevole all'idea qui espressa riguardo all'origine dell'Arcipelago. Lo stambecco o capra selvatica di Creta che si trova anche nelle due isole d'Antimelos e Joura, appartenenti al gruppo delle Cicladi, non è che una varietà della *Capra aegagrus*, cioè dello stambecco dell'Asia minore. Come mai avrebbe potuto questa specie migrare dal continente alle isole che ne sono separate da sì vasto mare? Bisogna dire adunque che Creta e le Cicladi fossero unite in epoca relativamente assai recente al continente, da cui rimasero più tardi separate per una di quelle oscillazioni di cui la storia della superficie del globo è tutta un intreccio.

pliocenica, sarebbero rimaste separate l'une dalle altre quando, abbassandosi il continente, il mare penetrò nelle rispettive valli e bassure. Così al sollevamento delle provincie venete ed all'abbassamento della Lombardia e del Piemonte, in corrispondenza col periodo pliocenico, avrebbero acconsentito da una parte la Dalmazia, la Grecia e l'Arcipelago, e dall'altra parte la Germania e il Nord Europa; mentre le stesse regioni avrebbero più tardi seguite le sorti dell'Alta Italia nel sollevamento e nell'abbassamento postglaciale avvenuti rispettivamente per regioni collocate piuttosto ad ovest che ad est del lago di Garda. È questa un'idea che io mi permetto di mettere innanzi, senza pretesa di volerla dimostrare, ma che credo sia meritevole di studio da parte dei geologi. Conchiudendo è fatto dimostrato che nell'epoca postglaciale i contorni dell'Adriatico e del Mediterraneo subirono in genere un notevole sollevamento, a cui partecipò tutta l'Italia, ad eccezione delle provincie venete, le quali subirono invece un abbassamento. L'asse di questa oscillazione è per l'Italia rappresentato indubbiamente dal lago di Garda.

Quando io dico sollevamento o depressione postglaciali, non intendo che di applicare semplicemente alla geologia italiana dell'epoca neozoica l'assioma che il sollevamento o la depressione di un deposito qualunque sono posteriori al deposito stesso. Non è mia intenzione però di difendere che il sollevamento o la depressione, ch'io chiamo postglaciali, abbiano avuto luogo d'un tratto, posteriormente all'epoca glaciale, cioè alla formazione di tutti i depositi terrestri o marini riferibili a quell'epoca. L'oscillazione può essere cominciata collo stesso cominciar dell'epoca, quindi proseguita, continua o ad intervalli, durante l'epoca stessa, per continuare, se fa duopo, fino ai nostri giorni. È questo precisamente che è succeduto in Norvegia, dove la serie dei fenomeni in discorso fu da parecchi, principalmente dal signor M. Sars, studiata e precisata. Nella sua Memoria sui terreni quaternari della Norvegia comincia a dare come risultato de' suoi studi questo che il sollevamento di quel paese non si operò istantaneamente e tutto d'un pezzo, ma successivamente e ad intervalli; poichè, dice egli, quando il mare si ritira lentamente, a poco a poco, dal lido, i testacei che vi si trovano sono lungamente tormentati dal flutto, rotolati innanzi e indietro e in gran parte spezzati: ciò che si nota appunto nei banchi marini ritenuti glaciali in Norvegia, come nei nostri depositi marino-glaciali di Cassina Rizzardi e di tutto l'anfiteatro morenico del lago di Como. Continua poi l'autore a precisare maggiormente questo successivo, graduale intermittente sollevarsi del littorale marino in Norvegia, dicendo che anzi tutto nella stessa epoca glaciale il suolo della parte sud-est della diocesi di Cristiania è uscito fuori dal mare a grado a grado, con certi intervalli di riposo, indicati dalle differenti linee di littorale o banchi a conchiglie marine, situati l'uno sopra l'altro, a partire dall'altezza di 248 fino a quella di 470 piedi sul livello del mare. In seguito il littorale sollevossi d'un sol colpo altri 150 piedi: finalmente, dopo un periodo di sosta probabilmente assai lungo, e dopo che la fauna postglaciale si era già da lungo tempo stabilita sulla costa, ci fu un ultimo sollevamento graduale di 150 piedi, che è quello che ha tutta l'aria di continuare ancora oggigiorno (1). Avendo noi a che fare nell'Alta Italia con depositi marino-glaciali molto internati nel continente, non è così facile precisare l'andamento e le fasi del loro sollevamento, come nel caso che si trovassero ancora, come i depositi simili e contemporanei in Norvegia, presso l'attuale littorale. Ma ci si riuscirà col lungo studio, giova sperarlo.

Prima di chiudere questo paragrafo, riporterò un fatto il quale può valere assai a conferma dell'idea che il lago di Garda, o meglio il sistema di valli di cui fa parte rappresenti una grande spaccatura, molto profonda; una di quelle che mettono l'interno del globo in comunicazione coll'esterno. Parlo delle copiose emanazioni gazose che hanno luogo nel bacino orientale del lago tra la penisola di Sermione, e la sponda veneta.

(1) M. Sars, *Om de i Norge forekommende Fossile Dyrelevninger fra Quartaerperioden*, Christiania, 1865.

Ecco che cosa dice il Pollini nel suo *Viaggio al Lago di Garda e al Monte Baldo*, pubblicato nel 1816: « Osservando attentamente la superficie del lago, scopresi una congerie non interrotta di bolle d'aria, talora fumanti, che in cinque distinte parti escono gorgogliando sulla soprafaccia dalla profondità d'incirca 70 metri. Una sesta sorgente apparisce più addentro nel lago. L'odore di tali bolle è d'uova fracide, inclinato al sulfureo; il sapore acidetto. Alcuni esperimenti hanno svelato in esse il gas acido-carbonico e il gas idrogeno solforato ». Una simile emanazione di gas acido-carbonico dalle acque del lago rimpetto a Lazise è ricordata dal Manganotti nelle sue *Osservazioni sul territorio alluvionale antico della provincia di Verona* (1856), dove è detto che alcuni anni prima poco mancò che quelle emanazioni non facessero morir d'asfissia alcuni pescatori che attraversarono colla loro barca quella colonna gazosa. Esse sono dunque vigorosissime. A queste citazioni, riportate dal Paglia nel citato *Saggio di studi naturali sul territorio Mantovano*, possiamo aggiungere che dal giugno 1866 al gennaio 1868 gli abitatori delle falde del Monte Baldo ne' dintorni di Castone e Malcesine furono atterriti da sotterranei boati a cui si accompagnavano ripetute scosse di terremoto. Si rifletta poi che, partendo dalle sponde occidentali del Lago di Garda fino ai colli Euganei, abbiamo quel celebre distretto vulcanico, la cui attività rimonta all'epoca cretacea e fu in grande vigore durante l'epoca terziaria. Anche attualmente questa attività si palesa con molte e vigorose manifestazioni secondarie, quali sono le sorgenti termali e i vapori che sgorgano dal suolo sopra una linea di forse 12 miglia alle falde dei colli Euganei tra Abano e Battaglia. Ora si rifletta che appunto l'altalena descritta precedentemente rimonta per lo meno all'epoca terziaria. È molto naturale che sulla linea la quale segna i limiti tra il sollevamento e l'abbassamento di una grande regione, siansi formate e si mantengano ancora aperte delle profonde spaccature, per le quali abbiano luogo simili manifestazioni dell'interna attività vulcanica. Una di queste sarebbe appunto il lago di Garda.

4. Terrazzamento delle alluvioni e dei depositi glaciali posteriormente all'epoca glaciale.

I ghiacciai, giunti al loro massimo sviluppo, eressero allo sbocco delle grandi vallate alpine, ossia ai confini interni delle grandi pianure alluvionali, i loro anfiteatri morenici, sbarrando le valli, cioè riempiendo le depressioni tra montagna e montagna con enormi cumoli di detrito morenico. Le *porte* dei ghiacciai, da cui uscivano i torrenti glaciali, si trovavano non molto al disotto dei vertici delle morene frontali, come si osserva nei ghiacciai attuali (1). Il rilievo morenico si continuava quindi immediatamente, come si osserva ora, col cono di dejezione fluvio-glaciale, e si univa con esso a formare una invincibile barriera contro l'irruzione del ghiacciajo. Quando i ghiacciai cominciarono a ritirarsi, sgombrando la valle, quella barriera rimase, e, arrestando le acque, converse la valle in lago. L'intaccatura della morena frontale, ove trovasi la *porta del ghiacciajo*, divenne l'emissario del lago, il quale trovossi così dapprima sul vertice del cono di dejezione fluvio-glaciale, e poco al disotto dei vertici della morena frontale. Qui comincia (non domandiamo per ora il perchè) il lavoro d'erosione. La morena frontale è erosa al disotto de'suoi vertici, ed erosi in pari tempo sono il cono di deje-

(1) Chi ha osservato i ghiacciai alpini nel periodo di avanzamento che durò fin verso il 1860, per dar luogo al periodo di regresso che continua ancora (1879), si ricorderà come generalmente la fronte del ghiacciajo sovrasti, qua per tutta la sua altezza, alla morena frontale, e come la porta del ghiacciajo si chiuda alla base della fronte, e quindi non molto al disotto della sommità della morena. Quando la morena frontale si alza, e diviene molto potente, anche il ghiacciajo, non potendola spostare, è costretto ad alzarsi. Ciò si osserva molto bene nel ghiacciajo di Mecugnaga, imprigionato da secoli dalla sua morena colossale, la quale non fu rotta che da una irruzione torrenziale. Le morene degli antichi ghiacciai erano a mille doppi più potenti. Il ghiacciajo, non potendo spostarle per avanzarsi, doveva gonfiarsi, tentando di superare l'ostacolo. Così la sua fronte sovrastava continuamente alla morena, che si andava ingrossando, e il torrente glaciale sbucava quasi sul vertice della morena stessa.

zione e tutta la regione alluvionale formata quando il ghiacciajo esisteva. Il fiume si incassa sempre più, terrazzando a dritta e a sinistra. Delle morene non rimangono che i vertici intatti, e i fianchi rosi e terrazzati. I terrazzi morenici si continuano coi terrazzi fluvio-glaciali, e questi cogli alluvionali.

Spero che questa teorica verrà rischiarata dai fatti che io raccolsi per dimostrarla. I più evidenti li troviamo ancora in dipendenza del *Sistema glaciale del lago d'Iseo* (1). Al più bell'apparato glaciale, che sviluppasi a nord dell'emissario, si accorda il più bel sistema di terrazzi, che sviluppasi a sud dell'emissario stesso. L'uno e l'altro si trovano in tali rapporti che bisogna essere ciechi per non vedere come l'uno dipenda immediatamente dall'altro riguardo alla causa, e l'uno segua immediatamente l'altro riguardo al tempo. Rechiamo sommariamente i fatti già da noi osservati circa l'apparato glaciale ai confini meridionali del lago d'Iseo.

Il lago d'Iseo è in quasi tutta la sua lunghezza da nord a sud fiancheggiato da alte montagne, solcate di tratto in tratto da valli e seni. Presso ad Iseo però, sulla sponda orientale, la catena che finora lo ha fiancheggiato, si ripiega, si tronca improvvisamente, e si apre un vasto piano torboso, a lievi ondulazioni, e nelle parti più depresse quasi a livello del lago. Ad ovest di esso piano il terreno si rileva di nuovo; s'erge un bel gruppo di colline rocciose, detto Colle d'Adro, il quale si tronca alla sua volta ad est, dando luogo ad un'altra vasta depressione, in fondo alla quale scorre, profondamente incassato, l'emissario del lago d'Iseo, il fiume Oglio. Sulla sponda occidentale, cioè sulla destra del fiume, sorge un'altra catena di colline rocciose, che, ripiegandosi a semicircolo, comprende dapprima diversi seni o valli, di cui le principali sono la Val-del-Foresto e la Val-Adrara; poi si continua colla catena che fiancheggia non interrotta la sponda occidentale del lago. In causa di tale disposizione orografica il ghiacciajo del lago d'Iseo, di cui conosciamo già tanti particolari, disceso da Lovere a Iseo, doveva urtare contro il colle d'Adro, e quindi biforcarsi e spingere un ramo ad est, occupando la depressione ad est del Colle d'Adro, e un altro ramo ad ovest, occupando la depressione ad ovest di esso, cioè lo spazio assai vasto, ove attualmente è inciso il letto dell'Oglio.

Necessità volle che si formassero due morene frontali, o meglio due sistemi di morene frontali, l'uno nella depressione ad est, l'altro nella depressione ad ovest del Colle d'Adro. Ciò infatti avvenne. Sono già note le morene, inscritte nella carta del *Sistema glaciale del lago d'Iseo* col nome di *Colline della Francia Corta*, formanti la cerchia morenica, che parte dal pendio orientale del Colle d'Adro, limita, con meraviglioso rilievo a semicerchio, il piano depresso e torboso, e va ad appoggiarsi sul fianco delle montagne a sud d'Iseo. Nulla che meglio risponda all'ideale di una morena frontale, perfetta, ch'ebbe ben poco a soffrire dell'erosione, e donde non ebbevi mai nemmeno, a quanto pare, efflusso di torrente glaciale. Lo scolo del ghiacciajo, cercando la linea della massima depressione, la trovava naturalmente nel prolungamento della chiusa (chè *lago di chiusa* è il lago d'Iseo) e il torrente glaciale fluiva da quel lato stesso e sulla stessa linea ora percorsa dall'emissario del lago. Qui adunque doveva il ghiacciajo erigere un altro anfiteatro morenico, un secondo sistema di morene frontali, non così regolare come quello del ramo orientale (perchè il suolo è molto meno libero, e troppo più accidentato) ma non meno completo ed evidente, come lo si vede infatti indicato nella carta suddetta. Eppure si diceva che da quel lato non vi fossero morene, e lo credetti anch'io; ma ciò è interamente falso. Le morene vi sono per bene. È bensì vero che l'apparato fluvio glaciale, o prettamente fluviale, deve trovarsi sviluppatissimo da questo lato; e lo è tanto, che le morene quasi si nascondono all'occhio dell'osservatore, assorbito nella contemplazione di uno stupendo apparato di piani alluvionali, di terrazzi e gradinate. Le morene ci sono, e ne abbiamo già indicate alcune; quelle cioè che sbarrarono le valli del Foresto e di Adrara, convertendole

(1) V. *Tavola* I.

in laghi (1). Le morene ci sono, ed è precisamente il luogo ove studiarne i rapporti coi terrazzi. Ma la cerchia morenica frontale, già irregolare in origine, quindi in parte distrutta, e per la massima parte erosa e precisamente terrazzata, non si ricompone che sotto l'occhio di un osservatore molto attento.

Immaginiamoci infatti che una gran barriera morenica, a guisa di muraglia, merlata in alto, come le morene attuali, di cumuli prominenti, sorga tra il Colle d'Adro e le montagne al di là dell'Oglio, sbarrando l'attuale emissario del lago d'Iseo. Il lago si alzerebbe, finchè l'emissario si trovasse all'altezza della barriera. Supposte le circostanze favorevoli alla erosione fluviale, supposto quindi che l'emissario divenisse capace di rodere la barriera, finchè abbia riguadagnato il livello attuale, comincierebbe a roderla ove la sommità di essa barriera è più depressa. Soltanto i cumuli più prominenti rimarrebbero intatti, conservando i caratteri di morena; ma tutta la morena sarebbe incisa, e quindi terrazzata, fino al livello attuale dell'emissario.

Ammesso che ciò sia avvenuto di fatto, vi saranno dei cumuli morenici sovrastanti ai terrazzi, e disegnanti, a guisa di altrettanti capi stabili, la cerchia dell'antica morena; il corpo stesso della morena, benchè terrazzato, cioè semplicemente roso, conserverà la struttura, e tutti i caratteri del detrito glaciale, di cui è realmente composto. Si verificano esse queste condizioni? ... Certamente.

Anzitutto l' antica cerchia morenica, tra il Colle d'Adro e le montagne a nord del lago, è benissimo disegnata da una serie di morene o cumuli morenici, sovrastanti al più alto livello della erosione, ossia al più alto piano dei terrazzi. L'estrema porzione ovest è rappresentata dalla morena di Paratico. Paratico è infatti a cavaliere di una morena o porzione di morena che, appoggiata alle falde occidentali del Colle d'Adro, fiancheggiando il lago, si va rilevando, finchè attinge il massimo sopra il luogo detto S. Pietro, ed è improvvisamente interrotta dall'emissario, l'Oglio, che le rode il piede alla profondità di circa 80 metri. La cerchia morenica si ripiglia al di là dell'emissario, formando il colle di Montecchio, il punto più elevato di essa cerchia morenica a sud, poichè Montecchio sovrasta all'Oglio di circa 90 metri. Prescindendo dai vasti terrazzi a cui sovrasta di molto Montecchio, la cerchia morenica andrebbe a compiersi a nord colle morene che sbarrano la Val-del-Foresto e la Val-Adrara, di cui ci siamo già intrattenuti.

Come avrete compreso (cosa del resto facilissima quando si abbia sott'occhio la carta del *Sistema glaciale del lago d'Iseo*), la gran morena frontale del ramo occidentale del lago, o, se volete, del ghiacciajo d'Iseo, è rappresentata da certi punti culminanti, ove la morena è vergine ancora; mentre negli intervalli, assai più depressi tra quelle sommità, v'ebbe un lavoro posteriore di acque, che foggiarono terrazzi, e scavarono letti di torrenti e di fiumi. I punti difatti dove la morena è conservata nella sua verginità e dove sono sparsi i massi erratici, quasi vi fossero caduti jeri, sono i punti più rilevati. La morena di Paratico è a circa 70 metri sul livello del lago; quella di Montecchio a 80^{m}; quella di Adrara 90^{m} e più. I punti così elevati sono le vette di altrettanti colli, allungati a guisa di morene, che dominano la bassa regione circostante, gareggiando con alcune cime rocciose che lor sorgono a fianco. Un po' più basso la scena cambia interamente d'aspetto. Quando siamo ad un livello di circa 55 metri sopra il lago, riunendo coll'occhio diversi punti corrispondenti alla stessa elevazione, benchè l'uno dall'altro assai distanti, ci accorgiamo di trovarci sopra un primo terrazzo, di cui non restano che alcuni scarsi lembi, che si staccano dalle morene più elevate, o immediatamente dalle colline rocciose che incorniciano irregolarmente il bacino. Un lembo di questo primo terrazzo circonda, a foggia di balcone, il colle di Montecchio; sopra un altro lembo è edificato il grosso paese di Tagliuno, alla distanza di 4 o 5 chilometri a sud di Montecchio, sulla destra dell'Oglio. Scendiamo ancora, e a circa 33 metri sopra il livello del lago, troviamo quanto di meglio può rispondere all'ideale d'un vasto terrazzo. È una vera piattaforma, sensibilmente

(1) Vedi sopra, pag. 246.

livellata, dell'estensione di più miglia quadrate, chiusa tra le due catene di colline che muojono a nord di Capriolo e di Tagliuno, e che, partendo da questi limiti, si va a fondere colla pianura fino a Palazzolo, e più giù colla vasta pianura lombarda. L'Oglio partisce quell'immenso terrazzo in due, lasciandosi la massima parte a sinistra, sotto Capriolo, ed una minima a destra sotto Tagliuno; incassandovisi sempre più in guisa che, se tra Capriolo e Paratico sottostà al piano del terrazzo di forse 40 metri, a Palazzolo ha già raggiunto gli 80m. Il grande terrazzo s'insinua ovunque verso nord, si distende nei seni di Solarolo, del Foresto, d'Adrara, correndo fino al piede delle morene che sbarrano quelle valli; forma i piani coltivati sopra Sarnico, e sfuma a nord-est di questo paese, ove le ignude rupi fiancheggiano il lago d'Iseo. Credaro, Villungo, Capriolo sono edificati su questo terrazzo.

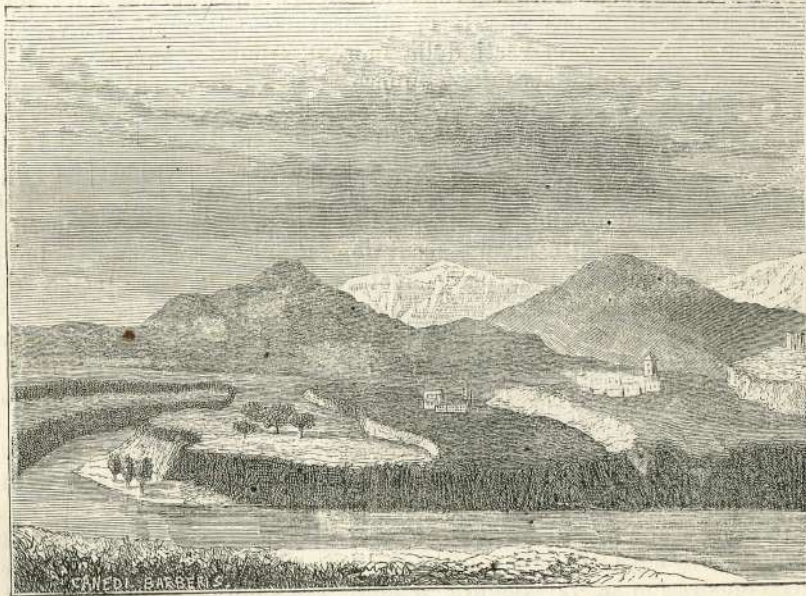



Fig. 76. — Terrazzi dell'Oglio visti da Capriolo.

Discendendo ora dal descritto terrazzo, che io chiamerò principale, s'ammira quanto di più vario può offrire un sistema di terrazzi. Tenete l'occhio sulla figura 76. Dirigendoci dalle falde occidentali del Colle d'Adro tra Capriolo e Paratico, per giungere in linea retta all'Oglio, si attraversa il terrazzo nella sua maggior larghezza, e lo si trova salire con lentissimo pendio, come farebbero i contrafforti alluvionali di un fiume che scorre in libera pianura. La differenza di livello, tra le falde del colle a cui si appoggia il terrazzo e il ciglio del terrazzo stesso, è di circa 3 metri. Giunti al ciglio (esso forma la base del quadro nella figura 76) ci troviamo sotto i piedi una parete verticale di forse 40 metri, sicchè d'un salto potremmo slanciarsi nell'Oglio. Qui dunque non esiste che un solo terrazzo (prescindendo dal primo, di cui non restano che i dispersi lembi). La cosa cammina ben diversamente sull'opposta sponda. Dalla cima di Montecchio, che ha la forma di morena, ed è designata precisamente sul margine destro del quadro nella figura 76, discendiamo, come ho detto, sopra un lembo del primo terrazzo, a circa 55 metri sopra il lago, da questo sul *terrazzo principale* (circa 33 metri sopra il lago e 40 sopra l'Oglio alla base meridionale del colle di Montecchio). Dal *terrazzo principale* si discende sopra un terzo gradino, poi sopra un quarto, e un quinto, finchè si arriva al fiume, che rode la parete verticale che abbiamo già osservata sulla sponda opposta. Un po' più a mezzodì, cioè sotto Caleppio, la scena è cambiata; il terrazzo unico si trova sulla sponda destra, la

gradinata sulla sinistra. In un luogo e nell'altro il terrazzo unico, a parete verticale, corrisponde alla massima prominenza di una curva arditissima del fiume, e la gradinata alla massima rientranza della stessa curva; cioè in un luogo e nell'altro la parete unica corrisponde ad un punto di massima erosione, la gradinata al punto opposto.

Raccogliamo le idee. Noi abbiamo, partendo dal pelo dell'Oglio, od una serie di gradini, o una parete verticale, che terminano l'una e l'altra alla stessa altezza di 33 metri (riferendoci approssimativamente al livello del lago), e vi trovate sopra un vasto altipiano. Sopra questo altipiano sorgono alcuni spicchi isolati di un terrazzo più alto (circa 55 metri), e sopra quegli spicchii di terrazzo si levano ancora dei colli allungati, tondeggianti, di pretta forma e struttura morenica, che si levano fino a 60, 70, 80 metri. Quelle morene adunque si levano sopra i più alti terrazzi, che loro servono di piedestallo. Immaginate un cono, o meglio un cumulo posto sopra una base quadrata e poligonale, e avrete l'espressione di ciò che figurano quei resti della morena frontale, sovrastanti ai terrazzi. Si direbbe che quei cumuli morenici vennero a rovesciarsi sui terrazzi già esistenti. Ma tutt'altro: quei cumuli morenici non sono che le maggiori eminenze della cerchia morenica, risparmiate dal fiume, che ne terrazzava il resto. Quei terrazzi, all'emissario del lago d'Iseo, nello spazio che dovette esser occupato dall'antica cerchia morenica, di cui rimangono ancora intatte le maggiori eminenze sotto forma di cumuli morenici, non sono altro che le stesse morene, rôse, tagliate, foggiate in quella guisa dalle acque, assai dopo la loro formazione. E badate bene che io non parlo nemmeno di morene rimestate, le quali hanno almeno di comune coi terrazzi d'alluvione, e colle alluvioni in genere, il carattere della stratificazione. No, sono morene, nè più nè meno, erose un tempo, come lo sono ancora continuamente in oggi. Osservate il prolungamento della morena di Paratico, che ha forma di terrazzo, osservate la morena che sbarra la Val-del-Foresto; osservate i magnifici e regolarissimi terrazzi sopra Sarnico; sviscerate lo stesso *terrazzo principale* sopra Credaro, e dovunque troverete che, prescindendo dalla forma esterna, posteriormente modificata, tutto è morenico, prettamente morenico: congerie caotica, grossi massi, ciottoli d'ogni forma, ciottoli e massi magnificamente lisciati e striati, nessuna distribuzione di materiali, nessuna traccia alluvionale.

Rinvenendo ora sui fatti presentatici dal lago d'Iseo, lasciando da parte molti altri che vi concordano perfettamente, e pigliando quelli come espressione di ciò che avvenne ovunque, li ridurremo a due soli complessivi. Notiamo 1.° un grande accumulamento di detrito, che riempì le valli ad un'altezza veramente meravigliosa; 2.° una grande erosione dello stesso detrito. Misurando l'altezza dell'accumulamento, quindi la profondità della erosione, concludiamo a due lunghi periodi successivi: lungo periodo di accumulamento; lungo periodo di erosione. Osservando la natura del detrito accumulato, troviamo che, fin dove sonvi indizii di morene, tutto il detrito è morenico, benchè non resti la forma esterna delle morene; a valle della zona delle morene, troviamo fino a Palazzolo, e ben più oltre, tutti i caratteri di un detrito fluvio-glaciale, che si continua con vere alluvioni, le quali passano dai grossolani detriti dell'alta pianura lombarda, ai detriti sabbiosi della valle del Po, fino alle fanghiglie dei lidi dell'Adriatico. Una tale disposizione rimonta necessariamente fino all'epoca glaciale. Tutto quel cumulo immane di detrito glaciale, fluvio-glaciale e alluvionale, fu eroso posteriormente alla sua formazione, fino al punto ove l'erosione è accusata dai terrazzi. L'altezza dei terrazzi accenna il livello a cui trovaronsi successivamente le correnti che operaron l'erosione, a partire dalle loro sorgenti, le quali erano le *porte* degli antichi ghiacciai. Esse correnti non si trovarono mai all'altezza delle morene più elevate, ma invasero la cerchia morenica ad un'altezza considerevole. Nelle regioni dei laghi le correnti erosive erano gli emissarii dei laghi stessi, che dovettero trovarsi ad un livello molto superiore, il quale pel lago d'Iseo doveva essere di circa 55 metri sopra l'attuale livello del lago stesso. La cerchia morenica fu erosa dagli emissarî, che diedero alle basi delle morene forma di terrazzo, senza punto ri-

mestarne gli elementi. Contemporaneamente veniva eroso il detrito fluvio-glaciale, e il detrito alluvionale, che eransi già formati in quell'epoca. Durante il lunghissimo periodo di erosione dovettero formarsi nuove alluvioni, dovute alle erosioni delle antiche; ma sempre inferiormente ai terrazzi già formati. Tutto il periodo dei terrazzi, cioè il periodo di erosione, è posteriore al periodo glaciale, cioè al periodo di accumulamento delle morene e delle alluvioni ora terrazzate, e costituisce meritamente un periodo a sè.

Riportando per intero dal mio *Corso di geologia* tutta questa abbastanza minuta descrizione del terrazzamento dell' anfiteatro morenico del lago d' Iseo, e delle dipendenti antiche alluvioni, ho inteso di dare al lettore un'idea precisa dei fenomeni in discorso, risparmiandogli la noja di quei particolari affatto simili, che risultano dallo studio degli anfiteatri di Como, del Ticino, d'Ivrea e di tutti, senza eccezione, gli anfiteatri dell'Alta Italia. Si comprende tutto in poche parole; che posteriormente alla loro formazione, quindi in un periodo posteriore all'avanzamento degli antichi ghiacciai, quindi in quello del loro regresso, tutte le morene, gli anfiteatri morenici e le antiche alluvioni, furono in Italia, come si è detto per tutte le parti del mondo, erosi profondamente e terrazzati dalle correnti di terra. — Questo terrazzamento si esercitò non solo sulle alluvioni e sulle morene terrestri, ma sui depositi marino-glaciali che stanno alla base degli anfiteatri, e in molti luoghi sulle stesse argille e sui conglomerati dell'epoca pliocenica, che in Italia formano generalmente la base di tutti i terreni riferibili all'epoca glaciale. Questo fenomeno non riguarda solamente la regione subalpina, ma anche la subappennina, dove troviamo ovunque erose e terrazzate non solo le *sabbie gialle* e tutti i terreni contemporanei dell'epoca glaciale, ma anche le *argille azzurre* e i conglomerati che vi rappresentano il periodo pliocenico.

Quando però si è detto che le correnti di terra operarono l'erosione e il terrazzamento degli anteriori depositi glaciali e alluvionali, non si è pronunciato ancor nulla circa le cause che determinarono le correnti ad agire in un modo così contrario a quello adoperato dalle correnti stesse nel periodo precedente, quando invece d'erodere, accumularono le alluvioni; nulla circa le cause per cui gli antichi ghiacciai prima si spinsero per sì lunga via verso il mare, per misurarla poi tutta subito dopo, ritirandosi; nulla circa i rapporti che possono e devono esistere tra questi fenomeni e le oscillazioni del suolo che li accompagnarono. Chichessia però può antivedere che tutte queste questioni si legano a quella tanto dibattuta delle condizioni climatologiche dell' epoca glaciale nelle diverse fasi in cui si può ripartire. — Vedremo di rispondere a tutte, come meglio ci venga per avventura concesso, nel seguente capitolo.

XVI.

CLIMATOLOGIA DELL' EPOCA GLACIALE

1. Si pone nei giusti termini la quistione del clima glaciale.

Quale fu la causa dell'epoca glaciale? Perchè gli antichi ghiacciai dapprima si spinsero fino ad invadere il mare, poi si ritirarono fin entro i più remoti recessi delle Alpi? I geologi sono unanimi a rispondere che è questione di freddo e di caldo. È il freddo che ha determinata la calata dei ghiacciai: è il caldo che li ha respinti. Così risposero; e, salve pochissime eccezioni di scienziati ancora sospesi e vacillanti, rispondono ancora i geologi, non in ciò migliori del volgo, il quale è solito attribuire certi effetti immediatamente a certe cause, senza badare se in ogni caso l' effetto è propriamente prodotto da quella causa, o se, data una causa producente un effetto, sia poi da attribuirsi ad essa il più o il meno dell'effetto stesso. E che? non è lo stesso sole che scalda le arene del Shaara e gli altipiani dell'Asia centrale? Perchè qui si gela e là si bolle? Messi su questa via i geologi di riconoscere nell'avanzamento e nel regresso dei ghiacciai non altro che aumento o diminuzione di freddo, è naturale che, non potendo far di meglio, s'impuntassero, come abbiam visto, a negare certi fatti, da cui risulta la mitezza del clima glaciale, e fino a negare che sia opera dei ghiacciai, ciò che dai ghiacciai stessi fu eretto a imperituro monumento della loro invasione. Così, se il lettore si ricorda, si negò che la fauna marina degli anfiteatri morenici di Como e d'Ivrea benchè indicasse un clima temperatissimo, fosse glaciale; così si spinse la cosa al punto di negare che gli stessi anfiteatri morenici fossero opera dei ghiacciai. Nell'epoca glaciale il clima doveva essere molto più rigido dell'attuale: una fauna od una flora temperata, in corrispondenza cogli antichi ghiacciai, è cosa inammissibile, assurda.

Ma hanno poi ragione i geologi? L'esistenza di una fauna marina temperatissima entro lo stesso terreno glaciale formatosi al piede delle Alpi, che è il fatto più importante riportato in quest' opera, è veramente inconciliabile coll'altro del pari innegabile e da nessuno contrastato dell'enorme sviluppo degli antichi ghiacciai? Anzitutto è evidente che i geologi hanno pregiudicata la questione, togliendoci fin la possibilità di trattarla, e ciò coll'aver confuso, vorrei dire, in un modo infelicissimo, il fatto colla ragione del fatto, come fossero la stessa e medesima cosa; come cioè sviluppo di ghiacci e clima più freddo dell'attuale si obbligassero scambievolmente, in guisa che, nell'argomentare, potessero stare l'uno per l'altro, come la causa e l' effetto necessario della causa stessa. I geologi, in-

somma ritennero sciolta quella questione che doveva invece intavolarsi: videro un assioma dove non c'era che un problema. Il dire: maggior quantità di ghiaccio, dunque freddo maggiore; ammette a priori come necessaria una causa che non lo è.

Il signor Tyndall è uno dei pochi che abbia osato trovare che non era per nulla necessario ammettere *a priori* che allo sviluppo degli antichi ghiacciai dovesse corrispondere un clima più freddo dell'attuale. « Noi (dice egli benissimo) non abbiamo nulla da perdere dell'azione del sole (s'intende per fare del ghiaccio); e se abbiamo bisogno di qualche cosa, è *una maggior quantità di vapore* ». Anzi, trova ragionevole il sospetto che nell'epoca glaciale facesse anche più caldo, riflettendo che una maggior copia di neve non è che il corrispettivo di una maggior quantità di calore impiegato nell'evaporazione di una maggior quantità d'acqua. A me sembrerebbe bene di aggiungere che una maggior quantità di neve non è che il corrispettivo di un numero maggiore di calorie, impiegate dapprima nell'evaporazione, poi emesse, restituite nell'atto e nel luogo stesso in cui il vapore passa dallo stato aeriforme al liquido, e dal liquido al solido. Chi volesse anche sapere quale sia questa quantità di calore la quale doveva essere messa fuori dal vapore atmosferico che passava a formare gli antichi ghiacciai, ne troverà il calcolo bell'e fatto dallo stesso Tyndall. Ammesso cioè che il vapore liquefacendosi emetta tutto il calore che ha richiesto già per passare dallo stato liquido a quello appunto di vapore; esso calore sarebbe uguale alla quantità emessa da un mare di ferro fuso pari al quintuplo della massa degli antichi ghiacciai. E sì che, se ho ben inteso, il signor Tyndall non calcola che la quantità di calore emessa dall'acqua che passa dallo stato di vapore al liquido, non quello che l'acqua stessa emetterebbe passando dal liquido al solido. Ecco come (conclude Tyndall, coll'intenzione di respingere o almeno di rivocare in dubbio l'opinione dominante del gran freddo dell'epoca glaciale), sia probabile il rovesciamento dell'ipotesi finora in corso: probabile cioè che il clima dell'epoca glaciale, invece di essere più freddo, fosse più caldo (1).

— Ma non è forse necessario il freddo, per produrre le nevi ed il ghiaccio? — Necessario certamente: ma qual grado di freddo? Forse, se lo domandate ai geologi, cominceranno a farsi pensosi; ma dovranno alfin rispondervi che per far neve e ghiaccio sotto il libero cielo non ci vuole un freddo che sia maggiore di un qualche mezzo grado sotto zero. Dunque non occorrono nè dieci, nè trenta, nè cinquanta gradi sotto zero. Basta che si possa fare del ghiaccio; e poi, quando si parlerà dello sviluppo degli antichi ghiacciai, non sarà più questione del come si faccia o non si faccia il ghiaccio, ma del come se ne faccia di più o di meno. Questa è la vera questione, per rispondere alla quale non vi è punto necessità di ricorrere al supposto di un freddo maggiore o minore di quello che fa attualmente sulla superficie. Mettendo dunque da parte tutto quello che di vero o di falso può esser stato detto fin qui riguardo alla questione del clima dell' epoca glaciale, vediamo di poterla noi ridurre a' suoi veri termini, per veder poi se si riesce a darle una giusta ed adeguata soluzione.

Come è facile intendere, nel formarsi de' ghiacciai i *fattori* sono due. Anzi, propriamente parlando, nel fenomeno del ghiaccio il vero ed unico fattore è l'acqua: la temperatura non c' entra che come condizione. — Che importa? — direte, — è però una condizione necessaria. — Necessaria alla produzione del ghiaccio, concedo: al suo sviluppo, lo nego. Datemi una temperatura sufficiente perchè il ghiaccio si formi; poi datemi acqua quanto ne chiedo, e vedrete se ho bisogno di disturbare le nostre primavere e le nostre estati, per far discendere il ghiaccio fino alle mura di Milano.... Che? lo farò discendere fino al mare, sotto la zona torrida, senza temperarne i bollori. Forse non ci son nevi sulle Ande equatoriali? Datemi acqua e un qualche grado sotto zero, quanto basta cioè per formar della neve, e farò scorrere i ghiacciai in seno alle vergini foreste, tra le palme e le

(1) Tyndall, *La chaleur considerée comme un mode de mouvement*, 1864.

felci arboree, finchè vengano a struggersi nel tepido bagno della *corrente del golfo*.

I due fattori nominati, l'acqua ed il freddo, sono però quantità le quali si possono sostituire l'una all'altra nei calcoli che si facessero per tutte le questioni dove trattasi della persistenza delle nevi, del livello delle nevi perpetue, del loro abbassamento e del conseguente sviluppo dei ghiacciai, ecc. In questi calcoli, ogni quantità di freddo può avere il suo equivalente in una quantità di neve e viceversa. Infatti le nevi saranno tanto più persistenti, quanto è maggiore il freddo, ovvero quanto è maggiore la neve che cade. I limiti delle nevi perpetue si abbasseranno, acquisteranno di estensione i nevai, e i ghiacciai di lunghezza tanto maggiormente quanto farà più freddo, ovvero quanto più neve cadrà. In questi calcoli adunque, il freddo, *agente negativo* in quanto impedisce alle nevi di sciogliersi, può trovare il suo equivalente nella quantità di neve, *agente positivo*, in quanto porta un effettivo aumento alle nevi ed ai ghiacci. Errano perciò quelli che, ammettendo come causa unica il freddo, dalla maggiore estensione degli antichi ghiacciai conclusero senz' altro ad una rigidezza maggiore del clima glaciale, senza prima considerare se quella maggiore estensione degli antichi ghiacciai non fosse anche la conseguenza di una maggior abbondanza di neve. Per esempio, il signor Ch. Martins, riportato dall'Omboni (1), calcolando l'estensione dell' antico ghiacciajo dell'Arve, voleva che si concedessero al clima dell'epoca glaciale delle Alpi quattro gradi di temperatura in meno sulla media annuale. Ora questi quattro gradi in meno rappresentano una quantità negativa la quale, in base allo stesso calcolo, può essere sostituita da una quantità positiva, cioè da una certa maggior copia di nevi che cadessero in quell' epoca. Con altre parole, ritenuta invariabile la quantità delle nevi dell'epoca glaciale come nella attuale, quattro gradi di temperatura in più o in meno darebbero lo stesso risultato che una corrispondente quantità maggiore o minore di neve, ritenuta invariabile la temperatura. La vera questione da farsi anzitutto è dunque questa: se faceva più freddo o se nevicava di più. È insomma una *questione pregiudiziale*, che fu trascurata, essendosi ammesso senz'altro che faceva più freddo. Noi invece vogliamo trattarla seriamente.

Per intendere ancor meglio come si tratti di una questione pregiudiziale, e come la sua soluzione possa avviare la principale ad una soluzione affatto contraria a quella che fu ammessa *a priori* senza discussione, si rifletta che il sistema, dirò il meccanismo, da cui dipende la formazione e lo sviluppo dei ghiacciai, non è altro che quello di un alambicco. Nol dirò per similitudine, ma per darne in una parola la vera definizione. Di questo grande alambicco il fornello è rappresentato dal sole; la cucurbita dai mari; specie dai tropicali, dove sotto l'azione del raggio diretto l'evaporazione è al massimo. I monti, dove le correnti cariche dei tropicali vapori vanno a concentrarsi, rappresentano il serpentino. Il prodotto multiforme è rappresentato finalmente dalle piogge, dalle nevi, e per conseguenza dai ghiacci. In un alambicco si può benissimo diminuire la temperatura del serpentino, ossia del condensatore, e ciò nondimeno aumentare il prodotto, purchè si dia alla cucurbita, e per conseguenza al condensatore stesso maggiore alimento. Potreste invece aumentare fin che volete il freddo del condensatore: ma, se non gli date alimento di vapore, non ne caverete una stilla. Che direste di un distillatore, il quale, avendo il serpentino immerso in un'acqua a 10 gradi di temperatura, credesse di ottenere il doppio prodotto facendola abbassare fino a cinque? — Lascia pure, gli direste, che l'acqua in cui si bagna il serpentino si riscaldi qualche grado di più; ma va a prendere maggior copia di vinacce, aggiungi fuoco in proporzione, e lavora giorno e notte. — A proposito di quest'ultima condizione da suggerirsi al distillatore, faccio riflettere che i condensatori naturali del vapore, voglio dire i monti, stanno oziosi per

(1) Martins, *Recherches sur la periode glaciaire (Revue des deux mondes*, 1847). — Omboni, *I ghiacciai antichi (Atti Società It.*, vol. III, 1861).

lunghe stagioni, mentre pure non scema il loro potere refrigerante. Tanto d'inverno come d'estate, le cime delle Alpi e dell'Imalaja son là pronte a convertire in acqua o in neve i vapori atmosferici. Perchè le vediamo noi per giorni e mesi disegnarsi nel purissimo azzurro del cielo, liete d'indorarsi al raggio del sole nascente, o di riverberare gli ultimi rossori del firmamento? Dite pure che quella che vedete è una macchina oziosa. Natura sa molto ben calcolare e mettere a profitto i suoi ozii; ma ciò non toglie che i condensatori tellurici rimangano oziosi per una buona parte dell'anno. Fateli dunque lavorare se vi giova aver neve e ghiaccio in maggior copia. Si diminuisca il numero dei giorni sereni; più spesso si addensi il temporale in seno a quelle aeree creste; più spesso e più lungamente l'orizzonte si copra, e fitte nubi celino ai nostri sguardi le Alpi: ci sia insomma quantità annuale maggiore di umidità, di pioggia, di neve: faccia poi anche men freddo, se si vuole: i ghiacciai si gonfieranno, si avanzeranno ugualmente, come sogliono gonfiarsi e avanzarsi anche di primavera e d'estate, quando si abbrucia dal caldo sugli stessi ghiacciai.

Questo mio modo di considerare la questione si approssima a quello di Tyndall: non è però lo stesso e mi sembra molto più giusto. — È cosa evidente, dice Tyndall, che il mezzo più indispensabile per produrre i ghiacciai (intende gli antichi) consiste in un evaporatore ed un condensatore perfezionati (1). — Che cosa vuol dire perfezionati? Se la maggior estensione della superficie liquida evaporante deve intendersi come un perfezionamento dell'evaporatore, siamo intesi riguardo a questo. Quanto al condensatore invece non intendo nè qual bisogno vi sia di un perfezionamento, nè in che deve consistere. A me basterebbe che il condensatore, si giudichi pure imperfetto, conservando la sua attività, od anche perdendone più o meno, si mantenga in azione più lungo tempo. Questa è, nel mio sistema, l'idea fondamentale: l'idea voglio dire di un prodotto maggiore di nevi e di ghiacci durante l'epoca glaciale, dovuta all'aumento dell'evaporazione per parte dei mari e ad un maggior lavoro del condensatore per parte dei monti, rimanendo inalterata o anche se si vuole accresciuta in più la media annuale della temperatura. Vedremo quanto a questa idea corrispondano i fatti.

Fin qui però ragionammo sempre in via preliminare, senza prendere propriamente le parti o del freddo o dell'umido. Ci saremmo però intanto liberati da questo pregiudizio volgarissimo, indegno della scienza, che allo sviluppo dei ghiacciai sia stato necessario un freddo più intenso dell'attuale; persuasi invece che, date opportune condizioni per la produzione di una quantità maggiore di vapori atmosferici, lo sviluppo degli antichi ghiacciai poteva aver luogo anche con un freddo minore di quello che si ha attualmente nella regione delle nevi perpetue. Non è da credersi che vi sia poco margine per questa riduzione; per fare cioè che il clima delle Alpi si raddolcisca sensibilmente, senza passare al disotto di quella temperatura che è pur necessaria perchè le nevi e i ghiacci si formino.

Agli ospizî del S. Gottardo e del S. Bernardo, collocati pure a centinaja di metri sotto il livello delle nevi perpetue, abbiamo già la media annuale di circa — 1° Cent. La media invernale poi è di circa — 8° Entro i limiti delle nevi perpetue che si trovano per le Alpi a circa 2400 metri, volendo andare fino a 3000, 4000 metri, avremo decine di gradi da togliere tanto alla media annuale come alla media invernale. La temperatura delle Alpi al di su delle nevi perpetue possiamo ben dedurla da quella più conosciuta delle regioni artiche, dove, anche a non sorpassare il 70° di latitudine, avremo per media annuale da — 8° a — 18°, e per media invernale da — 22° a — 40°. Posso dunque sottrarre alle medie di quelle regioni, che sono appunto i condensatori, cioè vere fabbriche di ghiaccio, cinque, dieci, ed anche venti gradi di freddo, ed averne ancora d'avanzo per produrre quanto ghiaccio mi abbisogni, purchè quei condensatori li faccia lavorare più lungo tempo che non lavorino. La conclusione di tutto questo è che l'ipotesi di un freddo maggiore dell'attuale per ispiegare il maggiore sviluppo

(1) *La chaleur considerée*, ecc.

degli antichi ghiacciai non è punto necessaria, e può essere anche in assoluta opposizione coi fatti, perchè il maggior freddo (date le condizioni della formazione della neve) può esser supplito da maggior quantità di vapori atmosferici, la quale determini una maggiore o piuttosto più diuturna, più continua attività dei condensatori.

Perchè il lettore veda, direi, dimostrati coi fatti, e fatti attuali, i principii esposti, e prepari l'animo a non meravigliarsi se gli antichi ghiacciai hanno potuto realmente svilupparsi in un clima temperatissimo, in mezzo ad una flora e ad una fauna a cui si addice appunto un clima temperatissimo, e, se fa d'uopo, subtropicale; gli porrò sott'occhio alcune specialità che riguardano l'attuale distribuzione dei ghiacciai sulla superficie del globo.

Quando si dice *ghiacciai*, pare che si dicano implicitamente due cose: clima freddo, almeno come quello delle cime delle Alpi o delle coste della Groenlandia; poi una fauna ed una flora addatti a questo clima. Ghiacciai e clima temperato si hanno a priori come due cose incompatibili. Eppure nulla che sia dimostrato più falso di questa incompatibilità. Incominciando dalla Nuova Zelanda, già da più anni il signor Hochstetter rese conto delle osservazioni di Haast sui ghiacciai di quella terra appartenente alla zona temperata antartica. Quei ghiacciai, benchè si trovino sotto latitudini meno distanti dall'equatore di quelle sotto le quali nell'opposto emisfero si trovano le Alpi; benchè dipendano da montagne molto più basse che non siano le Alpi; benchè insomma si trovino, per riguardo al freddo, in condizioni assai meno favorevoli al proprio sviluppo che non siano i ghiacciai alpini: pure discendono fino a 500 metri sul livello del mare, in un clima temperatissimo ed umidissimo, in mezzo alle essenze più delicate, tra le felci arboree, le *Aralia*, le *Dracœna*, le quali, al dire di Ch. Martins, non potrebbero sopportare il clima della Provenza (1).

Ma forse più interessanti al nostro proposito sono i fatti che si osservano sulle coste della Patagonia e del Chilì, passato lo stretto di Magellano per rimontare dal 55° al 30° grado di latitudine. Già il signor Kinkelin (2) riferiva che attualmente nell'emisfero sud, e precisamente nel Chilì meridionale, i ghiacciai arrivano al mare fin sotto la latitudine di 46°, 10: tanto si osserva nel golfo di Penas. Anche il signor Desor nel suo *Paesaggio morenico* accenna alla discesa dei ghiacciai nel golfo di Penas e nel Sir Georges Eyre Sound fin sotto il 46°, 40 di latitudine sud. Si badi che ci troviamo tra il 45° e il 46°, cioè sotto le stesse latitudini dove soltanto nell'epoca glaciale in Italia i ghiacciai giunsero al mare. Sulle coste d'Europa attualmente non credo che si trovino ghiacciai discendenti fino al mare prima del 67° di latitudine nord. A ragionare come la maggior parte dei geologi ha ragionato fin qui, bisognerebbe dire senz'altro che chissà quanto è rigido il clima sulle coste del Pacifico tra lo stretto di Magellano e il Perù, o meglio tra il 30° e il 55° di latitudine. Eppure è precisamente il contrario: il clima vi è dovunque dolcissimo. Questo fatto è, secondo me, di una straordinaria importanza, sicchè credo opportuno di riportare qui testualmente buona parte di una lettera direttami dal signor Francesco Giordano, in data 29 novembre 1877, destinata a fornirmi appunto i dati importantissimi da lui raccolti sul clima del Chilì meridionale e dello stretto di Magellano nel suo viaggio di circumnavigazione, e precisamente nell'ottobre del 1865.

« Il clima della costa ovest del Chilì, e specialmente della regione degli stretti magellanici, è molto singolare per alcuni fenomeni e certi contrasti apparenti che il medesimo presenta, tanto per rapporto alle temperature medie ed estreme, quanto per riguardo ai fenomeni glaciali. Mentre, per es., il clima vi è assai temperato, mentre cioè nè il mare vi gela mai in nessun punto, nè il termometro non discende mai molto sotto allo zero; mentre vi sono boschi assai folti in riva al mare, e vi

(1) Le osservazioni di Haast, riportate da Hochstetter nella sua descrizione della Nuova Zelanda, furono poi accennate da tutti, per es., da Desor, Laporta, Delaire, ecc.

(2) *Ueber die Eiszeit*, Lindeau, 1876.

si osserva in genere una flora temperata, e vi abbondano piccoli papagalli; mentre, dico, si osserva tutto questo, si vede d'altra parte molto bassa la linea delle nevi perpetue, la quale oscilla a circa 650 metri sul livello del mare. Non pochi ghiacciai scendono fino al mare, e questo si osserva anche prima del 50° di latitudine, mentre nell'emisfero nord, per vedere ghiacciai scendere fino al mare, bisogna inoltrarci sotto latitudini molto più avanzate verso il polo . . . .

« È molto curioso, come dissi, codesto clima delle terre magellaniche, mentre, colla sua linea delle nevi perpetue così bassa, e co' suoi ghiacciai che discendono fino al mare, la media della sua temperatura annuale è uguale a 7° C. e la minima assoluta non giunge mai a — 7° C. Anche la massima però non si eleva mai molto alta. Insomma il clima delle terre magellaniche non può dirsi nè un clima freddissimo, se si guarda all'inverno, nè un clima caldo se si guarda all'estate. Così nelle folte foreste dove domina il *Fagus antartica* il quale perde le foglie d'inverno, vidi delle *Fuchsie* ed altri arboscelli di climi assai caldi. I cereali vi crescono, ma non sempre vi giungono a maturità, e soffrono assai da certi venti di ovest e nord-ovest, violenti e freddi, che dominano molti giorni dell'anno e li abbattono a terra. Ci dice assai bene invece il bestiame bovino, il quale può starvi tutto l'anno all'aperto, le boscaglie servendogli alquanto di riparo. La neve (si noti bene quest'inciso) vi cade facilmente in qualunque stagione, ma di raro vi regge lungo tempo anche d'inverno, sicchè il bestiame trova quasi sempre da pascolarsi. Al sud della colonia di Punta-arenas (si noti che siamo già a 53° di latitudine) uno Svizzero che vi si stabilì con bovine, ne ottenne il prodotto di burro e cacio di ottima qualità, che si vende alla colonia stessa o si manda sul mercato a Valparaiso.

« Il mare presso lo Stretto è anch'esso assai temperato. Nell'ottobre, che è la fine dell'inverno per quei posti, segnava una temperatura 6° 1/2 sopra zero. Ci vivono delle conchiglie che sembrano di mari temperati, come piccole ostriche perlacee, *patelle* di grandi dimensioni, molti *Mytilus magellanensis*, *Voluta magellanensis*, *Triton cancellatum*, *Verms*, *echini*, *crostacei*, ecc. Insomma questa località presenta dei contrasti veramente notevoli; ma il più singolare sta in questo che vi sia un clima fresco sì ed umido, ma relativamente molto temperato, mentre molti ghiacciai discendono a stemprarsi in mare, camminando in mezzo a boschi, fiori e papagalli. Quei ghiacciai poi sono bellissimi, perchè il detrito morenico vi è scarso, e quindi presentano una superficie pulita e di un bellissimo colore zaffirino. Ad onta di quella discesa dei ghiacciai che si verifica sopra ambedue le sponde dello Stretto, e ad onta che se ne stacchino dei ghiacci galleggianti, in mare non gela mai. Notisi che i ghiacciai non si vedono nemmeno nella parte più meridionale nelle vicinanze di Punta-arenas, dove i monti sono poco elevati, e consistenti più che altro in terrazzi poco elevati sul livello del mare: si trovano invece sulla costa occidentale, tra il 50° e il 40° di latitudine all'incirca, dove il mare si insinua tra i monti della Cordillera e le numerose e deserte isole, che formano una specie di lunga catena parallela alla costa.

« Gli animali principali, o per meglio dire i più grossi di quelle regioni antartiche, sono il *Puma*, specie di leone (*Felis concolor*); il *Guanaco* che è una specie dei *Lama*; qualche specie di *cervo*; lo struzzo detto *Nandu* (Rhea americana); poi volpi, armadilli, ecc. I suddetti animali però abbondano sopratutto nella parte orientale del continente, e trovansi anche nella Terra del Fuoco a sud dello Stretto ».

Da questi copiosi del pari che interessanti particolari riguardo alla regione magellanica mi pare che il lettore debba già trovarsi molto inclinato a pensare che tutte le questioni che si son fatte fin qui circa il clima dell'epoca glaciale, sopratutto al modo che si son fatte, sono tutte, come si suol dire, questioni di lana caprina. Non abbiam qui nelle terre magellaniche quelle che si direbbero (parlando dell'Italia, dell'Inghilterra, ecc.) condizioni dell'epoca glaciale, senza che ci sia punto un clima glaciale? Non ci abbiamo ghiacciai littorali e marini col clima delle fuchsie e dei papagalli?

Il lettore dev'essere prevenuto anche contro un'altra falsa idea, ed è quella di misurare dalla potenza e dall'estensione degli antichi ghiacciai l'intensità della causa, qualunque possa essa risultare, che ha prodotto il loro sviluppo. Questo sia detto tanto per riguardo al progresso come al regresso dei ghiacciai. Si è giuocato molto di fantasia nell'immaginare le condizioni climatologiche dell'epoca glaciale: ed essendosi attribuito tutto al freddo, si volle poi che questo freddo fosse chissà di quanto atroce intensità, perchè corrispondesse all'enormità degli antichi ghiacciai. Ma si deve pensare che la grandiosità di un effetto tanto si può ottenere colla intensità come colla diuturnità della causa producente. Quando si vedono quelle montagne e catene di montagne fabbricate dai coralli e dai foraminiferi, si corre facilmente ad imaginare che quegli abitatori degli antichi mari fossero assai più dei moderni potenti di numero e di forza secretrice. No: date agli organismi secretori attuali la metà dell'efficacia di cui godono realmente, ma accordate loro del pari un tempo che basti: l'effetto alla fine sarà, per es. dopo un milione di anni, nè più nè meno di quello che l'agente secretore avrebbe ottenuto operando in un anno con un'efficacia un milione di volte maggiore. Così dicasi degli antichi ghiacciai. Sia il freddo, o l'umidità od un'altra causa qualunque che abbia prodotto il loro incremento; non fa bisogno di supporre che questa causa abbia avuto un'efficacia considerevolmente maggiore di quella di cui gode al presente. Una piccola differenza in più o in meno, accumulata per lunghi anni, può dare un risultato prodigioso; senza che per questo si siano verificati mai nè considerevoli sbilanci di clima, nè altre modificazioni le quali potessero avere una radicale influenza sui regni vegetale od animale. Ho già accennato, per es., a quella ripetizione su piccola scala dei fenomeni che caratterizzano l'epoca glaciale, di cui siamo testimoni noi stessi. Tutti i ghiacciai delle Alpi che si erano sensibilmente avanzati verso il principio del secolo fino al 1820, si ritirarono poi in guisa che tutti hanno perduto, specialmente a partire dal 1860, molte centinaja di metri di fronte. La *Mère de glace*, per es., si è ritirata circa un chilometro, perdendo un centinajo di metri di spessore. Per chi è capace di valutarlo, questo risultato è enorme. Eppure non pare che il clima alpino abbia subito veramente nessuna modificazione; nè pare che gli animali e le piante siansi accorti finora che i ghiacciai se ne vanno. Supponiamo che si continuasse un altro ventennio in questo modo, poi un altro ancora: i ghiacciai delle Alpi sarebbero ben presto ridotti a zero, al modo stesso che hanno perduto in un primo ventennio molte centinaja di metri. Perchè dovrebbe il clima esserne radicalmente, od anche solo profondamente modificato?

Liberi adunque finalmente, come io spero, da tutti i pregiudizi; pronti ad accettare per l'epoca glaciale anche un clima più temperato dell'attuale, anche torrido se ciò risultasse dai fatti; vediamo se si possono scoprire le vere condizioni del clima glaciale, per poter poi stabilire quale sia stata la causa che ha veramente determinato quel grande universale sviluppo di ghiacci che caratterizza appunto l'epoca glaciale. Ammesso pertanto che lo sviluppo degli antichi ghiacciai non dice per sè un freddo più intenso di quello che è necessario per produrre il ghiaccio, e ammesso che il clima glaciale può essere stato anche assai più mite dell'attuale; dove anderemo a cercare gli argomenti per decidere se poi di fatto questo clima glaciale sia stato più freddo o più caldo?

Messi da parte i ghiacciai come quelli che non sono punto l'espressione immediata della temperatura di un clima, bisogna ridurci ancora a quello che fino ad oggi ha servito di base a tutte le dispute e a tutte le conclusioni relative al clima delle epoche anteriori alla nostra. Bisogna ancora ridurci, voglio dire, all'esame della flora e della fauna di ciascuna epoca, rappresentate dai fossili. Credo però importante, sopratutto in riguardo al modo speciale con cui può essere trattata e risolta la nostra questione, di stabilire anzi tutto la distinzione (sempre per rapporto alla temperatura) tra *clima terrestre* e *clima marino*.

2. Distinzione tra clima terrestre e clima marino.

Nel concetto di clima d'un'epoca c'è già implicito tutto quanto si riferisce alla temperatura della terra ferma come dei mari, tenuto calcolo delle latitudini e delle longitudini, e di quanto può influire sulla ripartizione del calore alla superficie del globo. È troppo noto però che vi hanno diversità molto considerevoli, talora enormi, veri sbilanci, tra la temperatura delle terre e quella dei mari tra loro confinanti sotto le stesse latitudini. In questi casi la fauna e la flora marina possono presentare tali caratteri, per rapporto al clima, in confronto colla fauna e la flora terrestre confinanti, che sbagli grossissimi si commetterebbero, partendo dagli organismi dei mari per giudicare del clima delle terre, o viceversa partendo dagli organismi terrestri per stabilire il clima marino.

Lasciando le molte cause che possono determinare tali differenze, è indubitato che esse debbonsi principalmente alle correnti marine calde o fredde le quali, agendo pure in un senso sulla temperatura delle terre confinanti, agiscono nello stesso senso sulla temperatura del mare, ma direttamente, immediatamente, quindi con una energia che può essere 10 e 20 volte maggiore, producendo tali divarî che può darsi benissimo un mare torrido che bagni una terra temperata, un mare temperato che bagni una terra glaciale, e così viceversa.

Non mancano attualmente gli esempi. Per citarne uno, è noto che, secondo le osservazioni di A. D'Orbigny, la fauna tropicale dell'Atlantico guadagna a sud dell'equatore quasi 700 miglia, in confronto della fauna tropicale dell'Oceano Pacifico. La ragione si è che una corrente calda rade le coste dell'America meridionale verso l'Atlantico; mentre una fredda ne bagna le coste verso il Pacifico. Non credo che accada lo stesso per la fauna e la flora del continente, sicchè la flora tropicale si avanzi verso sud 700 miglia di più dalla parte dell'Atlantico che dalla parte del Pacifico. Infiniti esempi si potrebbero addurre del resto; ma valga per tutti, specialmente nel caso nostro, ciò che si osserva in quelle regioni le quali rispondono così bene all'ideale, certamente esagerato, dell'epoca glaciale nelle regioni ora temperate.

Un mare aperto, cioè spoglio di ghiacci, già prima divinato dalla scienza, fu più tardi scoperto in vicinanza del Polo. Il celebre navigatore Kane, attraversata la grande barriera di ghiaccio di 80 a 100 miglia di larghezza, e dello spessore di forse 100 piedi, che riempie a nord il canale di Kennedy, trovossi in riva di un libero mare, oltre l'82° di latitudine, e potè dimorarvi nove mesi. Sotto una temperatura ambiente che discendeva fino a — 46° centigr., l'acqua di quel mare si teneva a + 2°,26. In quel mare, cinto da ghiacci eterni, da regioni ove non spunta un fil d'erba, le foche scherzavano nelle onde tiepide, e stormi infiniti di uccelli acquatici vi si tuffavano (1). Paragonate dunque il clima di questo mare con quello delle terre da cui è immediatamente circondato. Kayes le descrive mirabilmente quando descrive gli *hummock,* ossia le montagne di ghiaccio che ingombrano lo stretto di Smith, attraverso il quale si scarica, fluendo verso i mari meridionali, il libero mare del polo artico. La corrente artica, nella stagione del disgelo, trascina i ghiacci galleggianti da nord a sud, pel largo canale di Kennedy. D'un tratto questo si restringe, formando lo Stretto. Come avviene quando una corrente, carica di materiali galleggianti, s'ingorga all'apertura di uno stretto canale, le montagne di ghiaccio vi si arrestano, vi si accumulano. Il fenomeno, che certo continua da secoli, più che non si veda, si desume da quello sconfinato hummock che ingombra tutto il canale, formando un caos indescrivibile di colli,

(1) Un passo dell'opera di Kane (Art. *Explorations*) riportato da Kayes, dice più precisamente, che il mare libero fu scoperto il 20 giugno 1854 da Mortou, compagno di Kane, che si spinse sino al Capo Constitution, punto della Groenlandia più avanzato verso Nord, un po' sotto l'81°. Il mare però s'inoltrava verso Nord a perdita d'occhi. La temperatura dell'acqua era il 4° sopra il punto di congelazione. Nessuno si ricordava d'aver mai visto altrove un numero così grande di uccelli. Sulle rive di quel mare si colsero fiori e frutti.

di rupi, di aguglie, un tale impasto, di cui ci formeremo qualche idea, quando sapremo che uno dei ciottoli componenti quel conglomerato tutto di ghiaccio era un pezzo di *icefield*, ossia una montagna di ghiaccio di 70 chilometri quadrati, secondo i calcoli di Kayes, che ce lo descrive. La traversata di quel hummock, su una linea di 150 chilometri, gli costò un mese di viaggio disastroso, compito come potè meglio in slitta o a piedi.

Queste son dunque le terre che corrispondono immediatamente ad un mare, il cui clima può gareggiare per mitezza coi mari più temperati. Da altri passi dell'opera di Kayes risulta che quel mare è popolatissimo; che sotto l'enorme ghiaccia che lo preme, la vita è al parossismo. Immense popolazioni di cetacei e di foche sopratutto vi si addensano. Supponiamo che quei fondi marini, i quali vanno accogliendo le reliquie di una fauna ricca e relativamente temperata, venissero, come gli antichi depositi marino-glaciali, posti all'asciutto. Chi oserebbe allora immaginare che quella fauna abitasse un mare, il quale bagnava delle terre dove si viveva ancor bene quando la temperatura era soltanto di 20° o 30° sotto zero? Chi d'altra parte, raccogliendo gl'indizi di una terra così veramente, così eccessivamente glaciale, oserebbe immaginare che essa si bagnava in un mare la cui temperatura si manteneva da 2° a 4° sopra zero?

Può darsi dunque benissimo una fauna marina antica, che accusi un clima temperato o caldo, mentre la flora e la fauna terrestri affermano un clima freddo o glaciale. Volendo pertanto giudicare del clima di un'epoca, bisogna tener conto tanto degli organismi terrestri come dei marini, e conchiudere, non in base agli uni o agli altri presi isolatamente, come si è fatto fin qui, ma dagli uni e dagli altri ad un tempo, come faremo noi, per dedurne qualche cosa di più ragionato rapporto alla temperatura glaciale.

3.° Mitezza del clima terrestre nell'epoca glaciale segnatamente in Italia.

Credo bene di cominciare questo paragrafo colla citazione di un passo del Laporta che, secondo me, con quello stesso arruffio di fatti che vi sono riportati senza nessun ordine, e colla confusione che evidentemente vi si fa di periodi diversi, ragionando dell' epoca quaternaria, quasi si trattasse di un giorno, svela molto bene lo stato in cui si trova presentemente la scienza nella questione del clima, o piuttosto dei climi che si verificarono durante un'epoca (appunto la quaternaria) lunghissima, che rimonta al cosidetto pliocene superiore, comprende tutta l'epoca glaciale, tutto il periodo del regresso glaciale ossia dei terrazzi, e si allunga ancora fino a toccare il periodo storico, comprendendo i tempi preistorici.

« Le célèbre Lyell en Angleterre, Escher et Heer en Suisse, remarquant sur » bien des points les traces du froid et des phenoménes qui lui servent d'indice, » ont été portés à en géneraliser l'existence. Voici les raisons qu'ils donnent; les » bœufs musqués, les marmottes, animaux maintenant relégués sur les hautes » montagnes ou dans l'extreme Nord, habitaient alors les plaines de l' Europe » centrale; les coquilles arctiques peuplaient les mers d' Angleterre; le pin des » tourbières, les sapins, les bouleaux, les mousses des regions froides formaient » le fond de la vegetations; les plantes de Laponie et de Norwège étaient sans » doute répandues partout: se sont elles justement que l'on rencontre au sommet » des Alpes, où elles ont dû s'y réfugier lorsque la température s'est adoucie de » nouveau. Les grands animaux de cette époque, comme le mammouth et le rhi- » nocéros à narines cloisonnées, etaient construits pour sopporter un froid rigou- » reux, ainsi que l'atteste la toison épaisse dont ils etaient revêtus. D' ailleurs » à quoi comparer l'Europe d'alors, sinon aux terres arctiques? Non seulement » l'analogie est frappante sous le rapport physique; mais les animaux et les » plantes se trouvent en partie les mêmes.

« Ce point de vue est celui où se place M. Heer dans son livre sur la *Suisse* » *primitive*, et qu'à développé M. Martins, bien qu'avec plus de réserve, dans une

„ série d'études insérées dans la *Revue de Deux Mondes*. Lorsqu'on y réfléchit
„ cependant, il parait difficile de comprendre comment une époque aussi rigou-
„ reuse aurait coïncidé justement avec le premier essor de la race humaine. On
„ peut se dire aussi que les contrées alors soumises à l' action directe des gla-
„ ciers, comme les massifs alpins et pyrénéens, ne sont guére susceptibles de nous
„ instruire du véritable étât de choses qui régnait dans le reste de l'Europe, pas
„ plus que les abords immédiats des glaciers actuels ne donneraient la mesure
„ des conditions climatériques propres à l'ensemble de notre continent. Du reste
„ il est vraissemblable aussi que les troupeaux de rennes n'ont été refoulés par
„ delà le cercle polaire, de même que le chamois sur le sommet des Alpes, que
„ par le fait de l' homme. Sans lui, ces animaux fréquenteraient les plaines, au
„ moins pendant l' hiver, et, dès que l'on admet une extension énorme des
„ glaciers, y a-t'-il lieu de s'étonner que les animaux et les plantes attachés à
„ leur voisinage aient pu descendre avec eux jusque dans les vallées inférieures?
„ Enfin les découvertes, en se multipliant, ont permis d'alléguer des faits entiè-
„ rement contraires. Les restes des grands animaux, recueillis dans les alluvions
„ anciennes de la Seine et de la Somme, déterminés avec soin par M. E. Lartet
„ et par M. A. Gaudry, ont démontré que les espéces considérées comme etant
„ l'indice d'un climat très-froid se trouvaient associées à d'autres d'un caractére
„ tout opposé. A côte du mammouth, ou a rencontré l'éléphant antique, qui se
„ rapprochait de celui de l'Inde; l'hippopotame des fleuves africains peuplait les
„ eaux de la Seine dans ce même temps représenté comme si froid, tandis qu'une
„ coquille remarquable des bords du Nil (*Cyrene fluminalis*) se montrait dans la
„ Somme, et que l'hyène du Cap fréquentait la France méridionale. L' examen
„ de la végétation forestière, dont les tufs contemporains de ces animaux reu-
„ ferment beaucoup de débris, conduit aux mêmes resultats: la vigne, le laurier
„ et le figuier s'y présentent en abondance non-seulement dans le midì de la
„ France, mais aussi à Moret, près de Paris; on y observe même le laurier des
„ Canaries, bien plus délicat que le nôtre. Les arbres du Nord à la mème épo-
„ que étaient des pins, des tilleuls, des érables, des chênes „ (1).

Ognun sente che qui sono confusi, come dissi, senza nemmeno un tentativo di coordinamento, tanti fatti diversi, verificatisi in diverse epoche; che si fa una cosa sola del periodo glaciale col periodo dei terrazzi e con quello della comparsa dell'uomo ossia colle epoche preistoriche; una sol cosa di faune e di flore diverse, come si trattasse di un sol giorno; come fra il principio dell'epoca glaciale e i tempi nostri non ci fossero passati di mezzo chissà quante migliaia di anni; come finalmente *l'Elephas meridionalis* e il *Rhinoceros lepthorhinus* fossero la stessa cosa che il mammouth e il *Rhinoceros ticorhinus*, e questi valessero tanto, nelle questioni geologiche, come la renna, l'alce e lo stambecco. Capisco che a questo modo ce n'è per tutti, pel caldo e pel freddo; e se da una parte si accumulano le contraddizioni, dall'altra le cose si accomodano. Il risultato sarà però sempre una babele. Una gran parte di colpa ce l'hanno anche quelli i quali, con una leggerezza ed una asseveranza che non ha forse esempio negli annali delle scienze positive, vogliono far passare come dimostrato che l'uomo rimonta all'epoca glaciale, ed anzi che l' uomo c' era molto prima che a codesti ghiacciai venisse in mente di scendere dalle Alpi. Naturalmente per questi tali, pliocene, glaciale, periodo dei terrazzi, periodi preistorici, son tutti una miscea (2).

Io cercherò quindi per mia parte di metter un po' d'ordine, per ciò almeno che riguarda l'Italia. Il clima glaciale vo' studiarlo propriamente su ciò che appartiene al periodo glaciale, cioè al periodo d'invasione e di sosta degli antichi ghiacciai: così il clima del periodo dei terrazzi vo' conoscerlo studiando ciò che ad esso ap-

(1) *Le Monde de Plantes*, pag. 110-121. Paris 1879.

(2) Anche il Sig. Laporta non pare che ci tenga moltissimo a distinguere i periodi geologici, e da ciò la confusione che si nota nei periodi citati. Noi troviamo infatti subito dopo a pag. 122 che l'autore, volendo dire pliocene, scrive invece l'*époque immédiatement antérieure à l'extension de la race humaine*. Dite poi che gli stranieri non sono precisi.

partiene, distinguendo, o almeno cercando di distinguere ciò che dev'essere distinto.

Se io volessi perciò misurare la temperatura del clima glaciale terrestre dai fossili appartenenti a certi terreni, che io ritengo indubbî equivalenti del terreno glaciale, potrei far risaltare molto evidente il fatto di un clima mite, probabilmente assai più mite di quello che regna attualmente nelle stesse regioni. Le scimie, le tigri, le jene, gli ippopotami, gli elefanti e i rinoceronti, che durante l'epoca glaciale vivevano nella Val d'Arno Inferiore (1), costituiscono una fauna il cui carattere subtropicale, per lo meno temperatissimo, non potrebb' essere revocato in dubbio da nessuno. Ma io non voglio approfittare di questi e d'altri vantaggi che io potrei ricavare da una equivalenza di terreni, che io credo dimostrata ma che da altri è ancora messa in dubbio. Equivalenti del terreno glaciale sono anche i depositi delle vere caverne ossifere, quali le abbiamo definite (2). Molte di quelle caverne appartennero a tigri e specialmente alle jene, tipi appartenenti alla fauna tropicale. Trattasi però in genere di depositi che si scoprono in località fuori dei dominî degli antichi ghiacciai. Non posso però rinunciare a tener conto di quella fiera, già così sparsa in tutta Europa, e da noi trovata in depositi indubbiamente glaciali, in regioni ora temperatissime, ma allora invase dal ghiaccio. Parlo dell'*Ursus spelæus*, scoperto entro una caverna invasa dai fanghi glaciali, i quali coprirono così immediatamente le ossa dei morti, da non potersi dubitare aver essi obbligati i vivi a trasportare altrove i loro quartieri. Del resto, secondo certi dati abbastanza sostenibili, e sostenutissimi da alcuni, pare che l'*Ursus spelæus* abbia sopravissuto all' epoca glaciale, sicchè si mostra in terreni più moderni: anzi secondo alcuni sarebbe stato incontrato ancor vivo in Europa dai primi uomini che vennero ad abitarla. Messi insieme i dati certi e i dati probabili, l'*Ursus spelæus*, è una specie eminentemente glaciale; è, vorrei dire, il prototipo della fauna glaciale, come quello che viveva prima che gli antichi ghiacciai acquistassero il massimo sviluppo, come mostra così evidentemente la caverna di Laglio (3), e ne vide indubbiamente il regresso. Ora che ci dice codesta belva del clima glaciale? Trattandosi di una specie estinta, è chiaro che non possiamo parlarne come di una specie vivente, la quale si saprebbe in che condizione di clima possa vivere e prosperare. È noto tuttavia che l'orso delle caverne è molto affine all'orso vivente, cioè all' *Actos*, l' orso bruno delle Alpi. Anche ora che, perseguitato dall'uomo, dopo tanti secoli è ridotto ad abitare a preferenza le regioni settentrionali d'Europa o le alture, l'orso bruno si trova ancora in famiglie nelle Prealpi; per esempio, sul gruppo del Legnone, donde si spinge facilmente fin presso le sponde del Lago di Como. Si vede, e si vedeva anche più sovente anni sono, presso Colico, o nella Valsassina, specialmente nella stagione delle castagne di cui è ghiottissimo. Certo discendeva una volta nella pianura, e ci capiterebbe ancora molto volontieri, se non fosse così stremato di numero e senza posa perseguitato. Dunque l'orso non appartiene propriamente alla *fauna alpina*, alla attuale fauna glaciale; no, ma alla fauna temperata. È quindi probabile che un clima temperato fosse confacente anche all'*Ursus spelæus*, le cui reliquie si trovano ora, non soltanto alla base delle Prealpi, come nella caverna di Laglio, ma anche molto più basso, nelle regioni più temperate alla base degli Appennini, ecc.

Non mi pare immeritevole di osservazione quanto in favore di un clima mite, temperatissimo, si può dedurre, secondo me, dai costumi dello stesso *Ursus spelæus*, quali anche dalle sue reliquie ci possono essere rivelati. Nel mio *Corso di Geologia* (4) ho già proposto questa questione: — Come mai una caverna, dove regnava veramente dispotico il formidabile orso, che superava di ben quattro

(1) Vedi sopra a pag. 253-256.
(2) Vedi sopra Cap. XIV.
(3) *Ib.*
(4) Vol. II, § 1239.

volte la mole dell'orso attuale delle Alpi, trovasi così destituita d'ossami d'altri animali? — E' credo che sia così dappertutto, mentre non m'è mai occorso di leggere che nelle caverne già popolate dall'orso speleo, siansi trovati, come in quelle popolate dalla jena spelea, in copia ossami d'altri animali, avanzi indubbiamente di rapine e di stragi perpetrate dalle belve sovrane di quegli antri. Ho risposto a quel quesito che la forma dei denti molari dell'orso delle caverne, come le abitudini dell'orso vivente delle Alpi a cui il fossile si avvicina, non accusano di soverchia ferocia quell'enorme quadrupede il quale può dirsi, per rapporto all'epoca glaciale, l'imperatore delle caverne. L'orso delle Alpi, diceva allora, è incontestabilmente di costumi assai miti; si pasce a preferenza di vegetali, nè diviene carnivoro, che necessitato dalla carestia degli ordinari elementi. Ciò è tanto vero che, nei serragli di belve, all'orso non si danno che alimenti vegetali. Conchiudeva quindi che quella spelonca di Laglio, abitata per così lungo tempo da un popolo di orsi dalle terribili zanne, non presentò forse mai una scena di sangue. Pensando ora a quello che scrissi parecchi anni fa, mi viene in mente che quegli animali erbivori o frugivori, sparsi certamente a centinaja e migliaja nei paesi subalpini, aveano bisogno di una vegetazione assai rigoliosa, perenne, quale insomma non s'accorda che con un clima molto temperato, e sufficientemente umido. L'*Ursus spelæus* sarebbe quindi testimonio non spregevole di quel clima mite, certamente men freddo dell'attuale, che per altre prove va attribuito all'epoca glaciale.

Veniamo ora a quei fossili i quali, oltre all'esser stati raccolti in paesi già invasi dagli antichi ghiacciai, appartengono a terreni indubbiamente d'epoca glaciale, essendosi formati, come abbiam visto nei capitoli precedenti, precisamente in conseguenza dell'avvenuto avanzamento degli antichi ghiacciai.

Uno di questi depositi indubbiamente glaciale è quello di Pianico (1). Vi si scoperse, oltre ai pesci ancora indeterminati, il *Rhinoceros Merckii.* Un rinoceronte già per sè accusa preferibilmente un clima tutt'altro che glaciale, nel senso che glaciale vogliasi sinonimo di freddo e di freddissimo. Credo poi che in Europa il *Rhinoceros Merckii,* sia o non sia distinto dall'*hemitœcus* e dall'*etruscus*, appartiene però sempre a quella fauna, già impropriamente ritenuta pliocenica, e che da tutti è presa come indizio sicuro di un clima molto mite e quasi tropicale o subtropicale.

Le argille glaciali di Adrara (2) non ci hanno dato finora di terrestre che gli avanzi di un grosso bue, che sarebbe probabilmente il *primigenius.* Un grosso bue non è certo l'animale più adatto a prosperare in un clima glaciale.

Il deposito di Leffe (3) è quello, secondo me, che ha la maggiore importanza nella questione che ci occupa. Qui ci abbiamo, oltre i buoi e i cervi, elefanti e rinoceronti. Ma la cosa più importante è questa che due buone specie, abbondanti, caratteristiche, sincronizzano la fauna di Leffe con quella della Val d'Arno superiore. Queste due specie sono l'*Elephas meridionalis* e il *Bos etruscus.* Ecco quindi come il deposito della Val d'Arno, che noi volevamo escluso come quello che ci avrebbe dato una troppo facile vittoria, ci ricompare come di straforo per dirci che due depositi, dimostrati dalla fauna comune ad ambedue equivalenti e contemporanei, depongono in favore di un clima mite, anzi mitissisimo. Ci avremmo, è vero, il castoro che al clima di Leffe vorrebbe dare un'intonazione, vorrei dire, più settentrionale. Ma ammesso anche come dimostrato che il castoro di Leffe sia identico al vivente, questo che abita sulle sponde del Danubio e del Rodano in Austria e in Francia, e sulle rive de' grandi laghi del Canadà, non appartiene sicuramente alla odierna fauna glaciale.

Specie interessantissima, perchè naturalmente legata al luogo ove nasce, e incapace di sottrarsi a debita stagione ai freddi eccessivi, è la tartaruga comune

(1) Vedi sopra pag. 243.
(2) Vedi sopra pag. 246.
(3) Vedi sopra pag. 267.

(*Emys europaea Selm.*), la quale figura tra i fossili del bacino di Leffe. Secondo il Sordelli quella specie accenna ad un clima molto mite, in corrispondenza con una media invernale di + 10° Centig. Egli stesso però, dopo aver ben studiata la distribuzione geografica di questa specie vivente, ci fa sapere che la si trova, non solo nella Spagna, nel Portogallo, nella Francia meridionale e in Italia, ma anche in Ungheria, in Germania e fin nella Persia e nella Polonia (1). Tutto questo dovrebbe avvertirci a non portare mai all'esagerazione in ogni caso il valore climatologico di una pianta o di un animale, mentre, per quanto si possano valutare, come fa in questo caso il Sordelli, le condizioni eccezionali di certi paesi, c'è sempre un bell'andare dal Portogallo o dalla Spagna alla Prussia od alla Polonia. In ogni caso poi la presenza della tartaruga comune a Leffe non direbbe punto per sè un clima che differisca molto dall'attuale che regna in Lombardia, dove quella specie è ancora vivente. Se si deve però ritenere una differenza tra il clima di Leffe nell'epoca glaciale, e il clima attuale della Lombardia, sarà sempre nel senso di una mitezza maggiore pel clima glaciale.

Abbiamo veduto come un perfetto equivalente del bacino lignifero di Leffe, con poca differenza di altitudine e di longitudine, si trova al di là delle Alpi nei depositi di Utznach (2). Ci troviamo anche là il *Bos primigenius* e l'*Ursus spelæus*, più il *Rhinoceros etruscus*, appartenente alla fauna della Val d'Arno superiore. Pel clima dell'epoca glaciale in Svizzera sono applicabili le stesse conclusioni che noi abbiamo già cavato dall' esistenza degli stessi fossili in diversi depositi al di qua delle Alpi pel clima dell'epoca glaciale nell'alta Italia. Si tratta sempre di un clima mite, molto mite; e il fatto acquista un valore decisamente maggiore, vedendo come esso risulta ugualmente provato per località al di là delle Alpi dove, benchè non molto, attualmente il clima è più rigido.

Le reliquie di un animale che pare debba portare con sè un voto prevalente dove ci sia questione di clima glaciale, furono trovate non semplicemente in un deposito equivalente del terreno glaciale, ma nello stesso terreno glaciale e precisamente nelle morene appartenenti al grande anfiteatro del lago di Como. Parlo della marmotta. Ecco in proposito di questa scoperta alcuni periodi che io cavo dalla *Nota sulle marmotte fossili trovate nei dintorni di Como* pubblicata dal signor Mercalli (3).

« Fedele compagna dei ghiacciai, la marmotta li seguì nelle loro peregrina-
» zioni, e nell'epoca glaciale discese con essi ad abitare le regioni prealpine, le
» colline ed anche le pianure fin dove allora quelli spinsero le loro fronti gigan-
» tesche....

« Fu nel 1876 che il signor Ferdinando Sala, intelligente ed assiduo racco-
» glitore di cose naturali, ebbe la fortuna di trovare pel primo molte ossa fossili
» di marmotte in una cava di ghiaja e sabbia, posta a metà strada circa fra Ol-
» giate Comasco e Lurate Abate, sulla destra della Lura, 14 o 15 metri sul
» letto del torrente.

« Venuto a conoscenza del fatto, nella primavera scorsa (1877) mi portai
» sul luogo, per esaminare il terreno in cui la cava fossilifera era aperta, e trovai
» che esso è una *schietta morena terrestre* (4): giacchè ne ha la natura caotica

(1) Sordelli, *Sulle tartarughe fossili di Leffe* (Atti Soc. Ital. Vol. XV, 1872).

(2) Vedi sopra pag. 251-252.

(3) *Atti Soc. Ital.* Vol. XXI, 1878.

(4) Il signor Sordelli ne' suoi *Brevi appunti alla Memoria del signor Mercalli,* senza nemmeno dire se si sia portato o no sui luoghi, dà per accertato che le marmotte si trovano colle conchiglie marine, le quali, come s'è visto, si trovano unicamente nella porzione basilare dell'anfiteatro di Como che ha il carattere, non di morena terrestre, ma di deposito glaciale marino. Abbiamo già visto che il signor Sordelli, quando un fatto non gli torna, trova comodissimo di negarlo. Che i suoi colleghi possono mentire, gli pare una cosa così naturale... Se si offendono, peggio per loro! Perchè mo', se il signor Mercalli dice d'aver trovate le marmotte in *una schietta morena terrestre*, si ha da dire invece che si trovarono colle conchiglie marine? Il signor Sordelli crede di dire così per cavarne poi quelle conclusioni circa l' origine dell' anfiteatro morenico che noi conosciamo abbastanza. Quanto a me, quando le marmotte si fossero trovate anche colle conchiglie marine, non ci troverei nulla a ri-

„ caratteristica e di più contiene ciottoli bellissimi calcari, lisciati e striati. Que-
„ sta morena appartiene alla cerchia più esterna e più elevata dell'anfiteatro
„ morenico del Lario; corrisponde quindi al massimo avanzamento ed alla più
„ lunga sosta che fece il ghiacciajo nella seconda fase del periodo glaciale (pe-
„ riodo degli anfiteatri) . . . .

« Le ossa si trovano principalmente in una parte sabbiosa della morena, a
„ tre metri circa di profondità sotto il suolo, e vi sono in tanta abbondanza che
„ su un'area di pochi metri quadrati si raccolsero una diecina di teste ed ossa
„ appartenenti a forse 25 o 30 individui, in generale adulti, come si rileva dal
„ color giallo dei loro denti incisivi, e dal volume di tutte le parti dello sche-
„ letro . . . .

« Anche a Bulgaro Grasso, pochi chilometri a sud di Olgiate, fino dal 1875
„ il dott. Grilloni di Appiano, nella stessa cava in cui si trovarono le conchiglie
„ marine come a Cassina Rizzardi, raccolse alcuni cranî di marmotte ».

Ammesso, come pare dimostrato, che le marmotte abitassero veramente i dintorni di Como nell'epoca in cui gli antichi ghiacciai fabbricavano i loro anfiteatri, e non già quando era prossimo il loro regresso, ma piuttosto verso il cominciamento del grande periodo di sosta, quale conclusione bisognerebbe cavarne per riguardo al clima? Pare inevitabile la risposta, che il clima doveva essere rigidissimo, affatto alpino, veramente glaciale. Il fatto della marmotta adunque sarebbe in contraddizione con tutti gli altri fatti, cioè con quanto si può dedurre dalla presenza di tutta la fauna terrestre studiata fin qui, e più ancora colla fauna marina, la quale, come meglio diremo bentosto, attesta un clima temperatissimo anzi caldo. Il fatto della marmotta è (dovrebbe dirsi: pare) in contraddizione con tutti gli altri fatti; ma non li distrugge e non ne scéma il valore. Se tutto (la fauna terrestre come la fauna marina e la flora) dice che il clima glaciale era temperatissimo; bisogna pure ammettere che la marmotta ci si potesse adattare, mentre non si poteva creare certamente un clima per sè. Siamo dunque al caso in cui, non potendosi (quando non si potesse) spiegare la presenza della marmotta in un clima temperatissimo, bisognerebbe confessare la propria ignoranza. Per buona sorte non ci troviamo proprio totalmente a questi estremi.

In un libro popolare da me recentemente pubblicato (1), ho trattato abbastanza estesamente la questione se del letargo degli animali ibernanti sia veramente causa il freddo, e se nella rigidezza del clima trovassero veramente quegli animali la condizione del loro benessere, dimodochè per questa ragione soltanto alcuni di essi, per esempio la marmotta, avessero legata la loro esistenza alle regioni glaciali. Ho dimostrato in genere come gli animali ibernanti il freddo, invece di amarlo, lo temono grandemente, come quelli che vi reggono assai meno dei non ibernanti, per esempio degli uccelli. Sono quindi provveduti di istinti singolari di previdenza per garantirsi appunto dal freddo quando s'avvicina la stagione invernale. Veggonsi perciò allora i pipistrelli, i ricci, i rettili e gli altri animali ibernanti rintanarsi nelle case, cercare il fondo delle caverne e, non potendo far di meglio, i più scavarsi una tana, per passarvi, dormendo in dolce tepore,

dire, nè mi crederei in dovere di ritirare nemmeno una parola delle moltissime che ho detto per di-
mostrare l'origine littorale o marina di una gran parte dell'anfiteatro morenico di Como. Se stiamo
però al fatto, affermato da chi può affermarlo, la piccola necropoli delle marmotte a Olgiate Comasco
appartiene alla porzione affatto terrestre delle antiche moreue. Quanto agli avanzi di marmotte tro-
vati dal signor Grilloni a Bulgaro Grasso nella cava in cui si raccolgono conchiglie marine, gli ho
conosciuti fino dal primo momento in cui si parlò di depositi glaciali marini in quei posti: ma fino
d'allora (cioè dal 1873 o 74) nessuno, ch'io mi sappia, aveva pensato a precisare il posto e il livello
dove furono raccolti. A Bulgaro Grasso il deposito tagliato dalla cava è altissimo, e se mostrò dei
fossili marini anche ad una elevazione molto considerevole, è molto probabile che anche colà si trovi
la parte terrestre della morena, nella quale può essere benissimo caduto in basso quel cranio di mar-
motta ch'io ho visto, ed era così perfettamente conservato e fresco che si sospettò avesse appartenuto
ad una marmotta che era fuggita da poco tempo dalla villa del signor marchese Rosales posta in quei
dintorni.

(1) *Il Bel Paese*, II Ediz. Milano 1878.

la fredda stagione. Le marmotte figurano tra questi ultimi, e le tane dove si ritirano conservano, dicesi, una temperatura di 10° a 12° C. Esposta ad un freddo anche non molto intenso, la marmotta muore. Non è dunque l'amor del freddo che leghi la marmotta alla regione dei ghiacciai e delle grandi nevi annuali; ma piuttosto dev'essere l'amore del caldo. Questa idea, che non è nuova, fece ridere il signor Sordelli, a cui parve molto strano che il signor Mercalli mandasse le marmotte sulle cime ghiacciate a cercarvi il caldo (1).

Pare che il sig. Sordelli non si sia ancora accorto che il vero si nasconde quasi sempre dietro un paradosso, davanti a cui si arrestano gli ingegni meticolosi, mentre i più eletti lo scavalcano animosi. Intanto io gli domanderò se egli per amore del caldo preferirebbe passare la stagione invernale a Milano, all'aperto e in abito d'estate, piuttosto che al S. Bernardo in una camera ben riscaldata o sotto buone coltri. Pare che sia proprio codesto il caso della marmotta. Troverebbe essa così facilmente il modo di mantenere nel suo letto una temperatura di dieci a dodici gradi, abitando sulla pianura a pie' delle Alpi, per esempio, nei dintorni di Milano o di Torino, dove d'inverno fa un freddo di — 10° od anche di — 15° C.? Quando la marmotta volesse scavarsi una tana che le garantisse i suoi 10° C. nel piano a pie' delle Alpi, non le darei il parere di sprofondarsi meno di una ventina di metri, misura verticale. Posto che potesse accontentarsi anche di quattro o cinque gradi sopra zero, bisognerebbe poi sempre che la si scavasse una tana della profondità di parecchi metri. Mi pare già tale condizione codesta che debba far sentire alla marmotta non essere il piano subalpino paese per lei. Nelle Alpi invece, e precisamente nella regione dei ghiacciai, che è quella dove le nevi annuali cadono in gran copia, e non scompajono che nella caldissima estate, la marmotta trova ciò che le garantisce il tepore di cui ha bisogno, senza obbligarla ad un lavoro soverchio e probabilmente per lei impossibile. Infatti quando s'è scavata una piccola tana tra quei sassi dove si trastulla nella bella stagione, e quando vi si è chiusa verso la fine d'autunno, la neve pensa al resto, coprendo la tana ed il suolo circostante di uno strato morbido, che può acquistare lo spessore di dieci a quindici metri e più, ed agire come coibente, in modo che il suolo possa a piccolissima profondità conservare la sua estiva temperatura.

Io non credo che sia stata apprezzata ancora abbastanza la virtù coibente delle nevi nelle regioni glaciali. Le spedizioni al polo ci potrebbero fornire una quantità di fatti atti a mostrare quanto sia forte e benefica per gli animali e per le piante questa virtù coibente della neve. Ho avuto occasione di poter esaminare, per gentilezza dell'autore, i primi risultati degli studi stupendi che va facendo il signor Stapf incaricato della parte scientifica nel grande traforo del S. Gottardo; sono rimasto stordito dell'enorme diversità che si verifica nella progressione dell'interna temperatura, osservata al piano piuttosto che al monte. Il fatto più interessante in proposito è questo, che la temperatura del sottosuolo, anche a profondità molto mediocre, è molto più mite nell'inverno nelle alte montagne che in pianura. Ciò si deve attribuire certamente all'azione coibente delle nevi invernali, le quali sulla via del S. Gottardo persistono fino a primavera molto inoltrata, o piuttosto fino all'estate.

Recentemente poi mi capitò sott'occhio uno scritto del signor Sexe (2), dove trovai riportata un'esperienza, la quale, secondo me, mostrerebbe che la virtù coibente della neve è veramente meravigliosa. Volendo confrontare la temperatura interna dei ghiacciai con quella dell'aria esterna durante l'inverno, quando i ghiacciai naturalmente sono inaccessibili, il signor Sexe, nell'agosto 1760, collocò dapprima tre termometri a diverse profondità nell'interno del ghiacciaio di Blaadalsbaeren (Norvegia) ed uno lo pose invece a fianco del ghiacciajo sotto una pietra che stava sulla sommità di una rupe nuda. Egli fece così perchè, non potendo porre il termometro destinato a misurare la temperatura dell'aria esterna in luogo

(1) Mercalli, op. cit. — Sordelli, *Brevi appunti*, ecc.
(2) *Om Sneebraen Folgefon*, Christiania 1864.

che si potesse mantenere sempre libero dalla neve, pensò che almeno su quella rupe nuda a fianco del ghiacciajo, e molto esposta al vento, la neve sarebbe stata spazzata via ben presto, e non avrebbe nemmen potuto accumularsi in gran quantità. Nell'inverno seguente la neve in quei posti levossi all'altezza invero molto mediocre di due metri o poco più. Raccolti i termometri nell'agosto 1861, trovò che il minimo della temperatura di quello esposto alla superficie era stato di soli 3° R. È una cosa meravigliosa codesta quando si pensi che nell'inverno 1860-61, come riporta lo stesso autore, al limite inferiore di un altro ghiacciajo (quello di Buersdalen) posto a 1445 piedi sul livello del mare e quindi a 2555 piedi più basso di quella rupe che aveva servito all'esperimento, il termometro discese fino a 14° R. sotto zero. Si può quindi ritenere che due metri di neve o poco più, rispettata chissà come, bastò perchè il termometro posto su quella rupe non discendesse che a tre gradi sotto zero, mentre indubbiamente la temperatura dell'aria dev'essere discesa 25 o 30 gradi sotto zero, a dire pochissimo.

Vede dunque il lettore se la marmotta, amica del caldo com'è, ha ragione di preferire la regione dei ghiacciai a quella dei piani che si distendono ai piedi delle Alpi. Nell'epoca glaciale, abbassandosi coi ghiacciai il limite delle nevi perpetue, e per conseguenza quello delle nevi persistenti annualmente lunga stagione, le marmotte hanno trovato comodo di discendere anch'esse fino ai limiti settentrionali dell'attuale pianura, dove lasciarono le ossa che noi raccogliamo nei dintorni di Como fra i ruderi degli antichi ghiacciai.

Non vorrei però ostinarmi a ritenere che sia questa la vera e l'unica ragione che tiene le marmotte trincerate entro i loro ghiacciati recessi. Io sono molto inclinato a credere che, non semplicemente le ragioni del clima, ma qualche istinto speciale non ancora avvisato dai fisiologi, leghi, per dir così, la marmotta ai ghiacciai. Non mi è noto che siasi trovata viva altrove che in prossimità e precisamente sulle sponde di essi. Là tra i sassi le marmotte scavansi la tana e ne' bei giorni d'estate vi stanno ore ed ore accovacciate, rivolte verso il ghiacciajo, talmente fise a guardarlo che è impossibile di avvicinarle, o anche solo vederle, salendo da valle a monte; mentre l'una e l'altra cosa è facilissima quando si discende da un punto più elevato di quello dov'esse si trovano. Credo potermi far garante del fatto, tanto per assicurazione della guida, come per quanto ho verificato io stesso, visitando il ghiacciajo di *Roseg* (Engadina), nel 1862. Mentre infatti percorrevo il ghiacciajo, ero, dirò quasi, continuamente assordato dai fischi acutissimi di quelle bestioline, che abitavano allora in gran numero sulle sue sponde. Non una però mi fu possibile vederne. Nel ritorno invece, tenendo l'alto della montagna, ne osservai benissimo una a breve distanza la quale mi parve corresse a nascondersi soltanto quando ebbe udito le nostre voci o il rumore dei nostri passi.

C'è troppo da studiare sugli istinti degli animali, perchè si possa fissare con sicurezza la vera ragione della loro distribuzione geografica. È molto probabile che studiando si trovi essere la ragione del clima caldo o freddo, umido o secco, la minima tra quelle che legano un animale ad un dato paese. Domandate perchè le api, insetti veramente cosmopoliti, riescono a preferenza, direbbesi, in un clima decisamente caldo, o in un clima decisamente freddo. Se volete infatti dei buoni alveari, che non sbagliano mai, che danno un prodotto eccellente, cercateli o a Smirne sotto quel clima quasi tropicale, o a Bormio e nell'Engadina a' piedi dei ghiacciai. Che cosa amano le api? Si può rispondere con pari ragione che amano il caldo e che amano il freddo. Vi son dunque animali che trovano condizioni propizie al loro benessere tanto in un clima caldo che in un clima freddo. La vera ragione per cui abitano piuttosto quel paese, anzi questo e quello indifferentemente, dev'essere quindi una terza ragione, la quale non è nè il caldo, nè il freddo, ma un qualche cosa che si verifica benissimo col caldo e col freddo.

I nostri animali ibernanti cadono in letargo nell'inverno: invece i grandi rettili e gli altri animali letargici dell'America equatoriale non possono nemmen più dirsi ibernanti, perchè dormono nella caldissima estate. Infine nella questione

dei climi geologici non bisogna arrabbattarsi troppo per questa o per quella specie, la quale può darci un dato contraddittorio a quanto ci è fornito dallo studio delle faune e delle flore e da tutto quel complesso di fatti, che ci possono condurre a stabililire la vera natura di un clima; ma bisogna a questo istesso complesso attenersi, e dedurne quanto sembra più vero. Gli è per questa stessa ragione che io, consigliato anche dal bisogno di non allungare soverchiamente questo scritto, lascerò di occuparmi di ciò che fu detto a proposito delle reliquie fossili di certi animali alpini, come il camoscio, lo stambecco, il topo delle nevi (*Arvicola nivalis*) trovate in regioni basse, temperatissime, non mai però, ch'io sappia, in depositi riferibili con certezza all'epoca glaciale propriamente detta, ossia al grande periodo d'invasione e di sosta degli antichi ghiacciai. Non posso però tacere come, dopo essermi occupato espressamente e largamente (1) della difficile questione dell'emigrazione delle specie viventi, già abitatrici dell'Europa meridionale e centrale, verso le regioni circumpolari, e di quelle che abitavano le regioni basse, verso le elevate; rimango ancora fisso nell'idea che la causa principale di tali emigrazioni, avvenute in epoche recentissime, cioè nei così detti periodi preistorici, e, in molti casi, nella stessa epoca storica, e fino ai tempi nostri sotto i nostri occhi, sia stato l'uomo. L'uomo perseguita e distrugge quegli animali che non protegge e coltiva: essi cercano di salvarsi dove si può. In tutto questo il clima non ci ha che vedere. Come a' miei giorni ho veduto scomparire dalle Alpi il lupo, che scorrazza a torme infinite nel settentrione d'Europa; come scomparve gradatamente l'alce verso il principio dell'êra volgare dall'Italia, tra il VII e il X secolo dalla Svevia, dalla Germania e dalla Fiandra, tra il X e il XVI dalla Boemia, Prussia, Ungheria e Lituania, e tra il XVI e i tempi nostri dalla Prussia occidentale, Galizia, Polonia e Scandinavia, mentre trovasi ancora abbondante nei paesi più settentrionali dei tre continenti; così scomparve posteriormente all'epoca paleolitica la renna, che forniva una cacciagione così abbondante alle primitive popolazioni alle falde de' Pirenei, ed ora si è rifugiata tra i Lapponi; e così pure scomparvero per via opposta, probabilmente verso lo stesso tempo, dalla Sicilia la jena e l'elefante, che a torme si veggono erranti sotto i bollori dei cieli africani.

Io credo che tra le specie migrate per paura bisogna contare anche la marmotta. Nel 1862, visitando il ghiacciajo del Roseg era dovunque, dirò quasi assordato dai fischi acutissimi delle marmotte, di cui ci doveva essere una vera popolazione, accampata sulle due sponde del ghiacciajo. Quindici anni dopo, cioè nel 1877 visitai di nuovo lo stesso ghiacciajo, percorrendo la stessa via, portandomi anche questa volta fino alla cima di quella specie di penisola, detta Lagaglios che divide a monte i due confluenti del ghiacciajo. Era su per giù l'istessa stagione; la giornata era bellissima; eppure non mi venne fatto in tutte quelle ore di udire un sol fischio di marmotta. Chiestone la ragione alla guida che m'accompagnava, rispose che le marmotte non vi si trovano più dal tempo in cui era cominciata la frequenza dei visitatori. Difatti chiunque ha potuto al par di me confrontare l'Engadina del 1862 con quella del 1877 non troverà punto strano che le marmotte e gli altri animali alpini non ci trovino più aria per loro. Quanto al ghiacciajo del Roseg basti il dire che, se nel 1862 mi vi trovai da mattina a sera nella solitudine più perfetta, nel 1877 invece ne feci la salita in mezzo ad un andirivieni di compagnie di toristi d'ogni nazione, e nella valle ai piedi del ghiacciajo, diventato giornaliero convegno di centinaja di persone, ci trovai arrestate carrozze ed omnibus a dozzine. Se l'idea non è troppo ardita, direi che l'Engadina, nominatamente la valle del Roseg, dal 1862 al 1877, mi rappresenta, nella grande questione della migrazione degli animali, l'Europa e il mondo civile, dal giorno in cui ebbe principio la civiltà, a quello in cui oggi viviamo.

Questa digressione sulla marmotta e la migrazione degli animali ch' io non credevo certo dovesse riuscire così lunga, non ci farà dimenticare nè l'argomento

(1) Vedi nel mio *Corso di Geologia*, Vol. II, C. XXXIII, e altrove.

principale che abbiam svolto, nè la conclusione che volevamo cavarne. Risulta dall'esame della fauna fossile dell'epoca glaciale, dissepolta da depositi indubbiamente glaciali sui due versanti delle Alpi, in posti che furono realmente soggetti all'invasione degli antichi ghiacciai; risulta dico che il clima dell'epoca stessa era mite, e assai probabilmente più mite dell'attuale.

In questa disquisizione volli tener distinta la fauna dalla flora, perchè sogliono si, non senza ragione, tenersi distinte nelle quistioni di climatologia; ritenendosi che la flora, come quella che è assolutamente legata al suolo, può considerarsi come un vero termometro fisso, mentre gli animali, anche i peggio provvisti di mezzi di locomozione, si sottraggono facilmente a quegli eccessi di caldo o di freddo che potrebbero compromettere la loro esistenza in un luogo, il quale può avere del resto tutte le condizioni favorevoli al loro sviluppo. Non bisogna però nemmeno esagerare, come si è fatto, l'importanza delle piante, come si potesse dalla presenza di questa o di quella specie desumere con certezza il clima di una data località. Anche la botanica nelle questioni di climatologia geologica si ribella molto facilmente al dogmatismo di certi scienziati. Specialmente le piante dei climi freddi possono climatizzarsi facilmente in un paese temperato o caldo: non così facile invece è che le piante dei climi caldi si propaghino in un clima freddo. Boschi d'abeti, per es., vediamo al monte e al piano, e la betulla (*Betula alba*), solita a figurare nelle Alpi a considerevoli altezze, coi faggi, i pini e gli abeti, è comune nelle brughiere della Groana e in quelle tra Arona e Sesto Calende, benchè, come osserva il Gastaldi, vi si scorgano reggere benissimo in piena terra le camelie, le magnolie e l'agave americana (1). Rivediamo ad ogni modo le località dove, congiunte alle reliquie della fauna glaciale, si trovano quelle della flora.

La flora di Pianico contiene le sei specie di cui abbiam dato la nota a pag. 245. La flora glaciale di Leffe è pure specificata sopra a pag. 250, dove la lista delle piante fossili era data in base agli studi del signor Sordelli. Più recentemente però lo stesso signor Sordelli ne ha arricchito l'elenco (2). Credo opportuno pertanto di qui riportarlo, per completare e correggere quello che si legge a pag. 250.

Pinus sp.
Abies excelsa
» Balsami Sord.
Larix europaea D. C.
Corylus avellana Linn.
Acer tribulatum? Stern.
Aesculus hippocastanum Linn.
Juglans bergomensis Bals.
Trapa natans Linn.
Folliculites Neuwirthianus Mass.

Il giudizio climatologico del signor Sordelli in base a questa flora eccolo qui, come ce lo diede nella sua Memoria *Sulle tartarughe fossili di Leffe*: « La flora di Leffe » dice egli « si presenta con tutte le esigenze di un clima certamente non freddo, bensì dolce e presso a poco uguale a quello di cui godono adesso le pianure della Lombardia e della Venezia ». Siccome Leffe si trova già ad una certa elevazione in confronto delle pianure, si potrebbe conchiudere che il clima d'allora fosse in genere almeno un pochino più caldo dell'attuale. Col giudizio del signor Sordelli consuona perfettamente quello pronunciato da Heer circa il valore climatologico delle piante scoperte nelle ligniti interglaciali (che vuol dire eminentemente glaciali) di Utznach, ecc., delle quali abbiam detti i nomi a pag. 252. Quelle piante, ad eccezione del *Pinus montana*, e dell'*Acer pseudoplatanus*, sono quelle stesse che crescono anche in oggi in quei luoghi. Le due specie eccettuate però discendono anch'esse, benchè di rado, nella pianura. Conclude il sig. Heer che il clima di quel tempo era uguale su per giù a quello che regna al presente;

(1) Gastaldi, *Appunti sulla memoria di Geikie*, ecc.
(2) *Descrizione di alcuni avanzi vegetali nelle argille plioceniche lombarde* (Atti Soc. Ital, Vol. XVI, 1874).

ma forse un pochino più freddo. Questo piccolo grado di maggior rigidezza potrebbe essere stato una specialità dei paesi oltre Alpi, mentre per quello che riguarda i versanti italiani mi pare che la conclusione finale dedotta dall'esame della fauna e della flora sia questa, che durante l'invasione degli antichi ghiacciai il clima si mantenne su per giù colla temperatura del clima attuale: ci hanno tuttavia i migliori argomenti per ammettere che fosse un poco, e fors' anche sensibilmente più caldo.

4. Straordinaria mitezza del clima marino dell'epoca glaciale segnatamente in Italia.

Veniamo al clima marino, preparati, per quello che abbiam detto nel § 2, a trovarlo anche molto differente dal clima terrestre. In genere gli studi eseguiti fin qui sulla fauna marina dei depositi ritenuti glaciali nel Nord d'Europa hanno contribuito a far valere l'idea di un clima più freddo dell' attuale. Sentiamo quello che dice, come conclusione di uno studio veramente fondamentale dei fossili appartenenti ai periodi quaternari in Norvegia, il signor Sars (1). La fauna marina dell'epoca glaciale, conservata tanto nei banchi littorali sollevati fino a cinquecento piedi in Norvegia (nominatamente nella parte sud-est della diocesi di Christiania) quanto delle argille marnose della stessa epoca, è una fauna la quale, secondo il signor Sars, non si incontra oggi altrove che nel mare polare. Questa fauna fu rimpiazzata in seguito da un'altra più meridionale, la quale accenna un clima più dolce. Questa è rinchiusa in altri banchi littorali, postglaciali, che non sorpassano l'elevazione di 150 piedi all'incirca. Anche questa seconda fauna però, dice l'autore, *ha ancora il carattere artico, ma in generale meno sagliente.* Notisi inoltre che tanto le specie d'una fauna come quelle dell'altra sono tutte viventi. Si vede che il tanto decantato carattere artico della fauna glaciale della Norvegia, attribuito già prima da diversi autori alla fauna marino-glaciale dell'Europa settentrionale, ed anche di paesi meridionali come la Sicilia, non è poi così deciso come sembrava. Infatti a che si riduce la differenza tra la fauna glaciale e la postglaciale, se questa ha semplicemente un carattere artico in *generale meno sagliente*, il che vorrebbe dire che qua e colà le due faune non si distinguono punto sotto questo rapporto? Poi le conchiglie glaciali e postglaciali sono quelle stesse che vivono in quei mari, salvo che alcuna fu racccolta piuttosto un poco più a nord che un poco più a sud. Non c'è nulla adunque che attesti un vero clima glaciale-marino sulle coste della Norvegia; ed ho paura che lo stesso poco valore abbiano le osservazioni di Forbes e di altri sulla fauna marina dei periodi quaternari delle isole britanniche e di Sicilia, ch' io ho raccolte religiosamente nel mio *Corso di Geologia* (2), e che mi hanno indotto a scrivere potersi asserire che l'epoca glaciale e la sua universalità sono meglio provate dalle conchiglie marine, che dai ciottoli striati e dalle morene. Vi sono tante cause che possono determinare le migrazioni delle specie: poi oltre la temperatura, quante circostanze nell'epoca glaciale hanno potuto influire sulla distribuzione degli animali? Bisognerebbe poi anche studiare la distribuzione delle specie viventi in rapporto alla profondità da loro preferita. Chissà che quelle specie, le quali si ritengono migrate verso il polo per ragione del freddo non s'abbiano a trovare ancora sotto le antiche latitudini, pescando a maggiori profondità.

Questo mio scritto del resto intende piuttosto a presentare nuovi fatti ben accertati e ben discussi, i quali possano fornire dei buoni elementi per trattare certe questoni nella loro massima generalità, che a trattarle in questo senso. Fosse anche assolutamente dimostrato che nel Nord d'Europa il clima marino dell'epoca

(1) M. Sars, *Om de i Norge forekommende Fossile Dyrelevinger fra Quartaerperioden*, Christiania, 1865.
(2) Vol. II, § 1175.

glaciale era più freddo dell'attuale, non vorremmo dalle condizioni speciali di quei posti dedurre la conseguenza che dappertutto il clima glaciale-marino sia stato più rigido. Che sproposito commetterebbe, per es., quello il quale, ignaro di certe leggi della geologia fisica, e non sapendo quante diversità di clima, per effetto di circostanze tutte speciali, si verificano in regioni poste sotto la stessa latitudine ed anche in condizioni per molti riguardi somiglianti, volesse desumere il clima dell'Inghilterra da quello del Canadà, e il clima d'Italia da quello della Nuova Zelanda! Per trattare nella sua universalità la questione del clima glaciale bisognerebbe aver prima ben conosciute e calcolate le condizioni speciali che ai diversi paesi possono aver create le condizioni fisiche e geologiche dell'epoca. Lasciando adunque da parte la questione generale del clima marino dell'epoca glaciale, nessuno vorrà negare intanto il valore decisivo che hanno, per rapporto al clima marino dell'Italia in quell'epoca, le grandi scoperte fatte recentemente entro la zona degli antichi anfiteatri. Non trattasi di depositi isolati, di epoca incerta; non trattasi di qualche conchiglia raccolta chissà come e da chi. Trattasi invece di un littorale marino di parecchie centinaja di miglia quadrate, occupato dalle fronti moreniche degli antichi ghiacciai, i quali su tutto quell'immenso littorale confusero i loro detriti colle reliquie marine sbattute a migliaja sopra un lido morenico. Qui tutto quanto è glaciale e tutto quanto è marino sono contemporanei. La fauna marina raccoltavi è copiosissima; quanto al clima che essa può indicare basterebbe ricordarsi che la fauna glaciale dell'Alta Italia è quella ancora delle *sabbie gialle subappennine*, già riferita al pliocene, e già proclamata come indizio sicuro di un clima più mite dell'attuale. Volendo però stare precisamente ed unicamente ai fossili scoperti nel terreno glaciale, in seno alle morene, rappresentanti certi della fauna glaciale, non dobbiamo far altro che metterci sott'occhio l'elenco già pubblicato in uno dei precedenti capitoli (1), poi osservare principalmente sotto quale clima, se in mari freddi o in mari caldi si trovano in oggi quelle specie viventi che in tanto numero abitavano allora, con altre ora spente, il mare glaciale ai piedi delle Alpi.

Il sig. Sordelli si è già assoggettato per noi a questo studio comparativo di non lieve fatica, e fu appunto per aver trovato che quella fauna accusa un clima mite, mediterraneo, anzi *tropicale*, come lo ha detto il signor Sordelli in un momento, credo, di soverchio entusiasmo, fu appunto, dico, coll'aver trovato quell'indizio sicuro di un clima caldo che lo stesso sig. Sordelli, cogli altri miei avversarî, si trovarono come tratti per forza a negare che i depositi contenenti quella fauna fossero depositi glaciali, e quindi la fauna stessa appartenente all'epoca glaciale. Io non vorrò certo acclamare la tropicalità o subtropicalità di quella fauna; ma ci tengo moltissimo a far sentire, d'accordo col signor Sordelli, che veramente essa accusa un clima temperatissimo, propriamente mediterraneo, nel senso in cui quest'epiteto è preso dai moderni naturalisti, specialmente dai botanici. Per dimostrarlo non ho bisogno niente di più di quello che mi è così liberamente fornito dal sig. Sordelli. Ecco alla lettera quanto egli dice di più concludente in proposito nella sua più volte citata Memoria: *La fauna marina di Cassina Rizzardi.*

« Delle 98 specie da me constatate a Cassina Rizzardi e vicine località di » Ronco e Bulgaro, 47 vivono tuttora nel Mediterraneo, 3 mancano al nostro » mare, ma vivono, giusta gli autori, nei mari tropicali (*Ranella marginata*, » Küster, *Terebra fuscata, Venus plicata*); 48 specie si ritengono estinte. L'in- » dole, la fisonomia (*facies*) di codesta fauna appare dunque a prima vista, sic- » come quella propria di un mare *non meno caldo* di quello che lo sia il Me- » diterraneo attuale; ma aggiungo subito, che dessa rivela anche ai meno veg- » genti dei caratteri affatto particolari che richiamano la fauna di mari *assai* » *più caldi del nostro*. In essa si trovano infatti, oltre le tre specie tropicali » accennate poco fa, dei generi che più non esistono fra noi, ma sono largamente

(1) Vedi sopra a pag. 170-172.

„ rappresentati fra i tropici, nel mar Rosso, alle Indie Orientali, alle Antille, ecc.
„ tale è il genere *Strombus*, di cui lo *St. coronatus* trovasi così frequente e ca-
„ ratteristico della nostra fauna fossile; i generi *Ficula, Pyrula, Nerita*, la *Cassis*
„ *variabilis*, le grandi specie di *Terebra, Pleurotoma, Turritella;* la *Mitra scro-*
„ *biculata*, ecc.; le quali non hanno più alcun riscontro in forme mediterranee,
„ ma ricordano specie assai affini di mari più prossimi all'equatore che non il
„ nostro . . . .

« Di codeste 47 specie mediterranee la più parte trovasi sparsa ovunque,
„ talvolta in molta abbondanza lungo le nostre coste; ma un certo numero (9 al-
„ meno tra esse) trovansi oggidì ristrette ad una regione sola del nostro mare e
„ precisamente a quella regione dove il calore fassi maggiormente sentire, non
„ solo agli abitanti della terra, ma anche a quelli dell'elemento che pure sem-
„ brerebbe dover prestarsi meglio, per la sua mobilità estrema, congiunta ad una
„ densità non piccola, se non a levare, per lo meno a diminuire d'assai le diffe-
„ renze di temperatura. Tali specie *esclusive* alle coste del Marocco, dell'Algeria,
„ del mare fra Sicilia ed Africa, dell'Arcipelago greco, sono: *Typhis fistulosus*,
„ rinvenuto solo dal Forbes nelle sue esplorazioni nell'Egeo; *Cancellaria cancel-*
„ *lata* delle coste algerine, mancante sulle coste settentrionali e nell'Adriatico;
„ *Turritella subangulata*, già ritenuta, come il *Typhis*, estinta e trovata da poco
„ vivente da Benoit sulle coste di Tunisia; *Mangelia incrassata*, i *Solarium (pseu-*
„ *doperspectivum, simplex, moniliferum)* che si rinvengono solo nel mare di Si-
„ cilia e sulle coste africane; *Cardium hians* su quelle dell'Algeria. Codeste
„ specie, una volta così abbondanti nel pliocene, ed ora così scarsamente rappre-
„ sentate, hanno tutte bisogno di un clima piuttosto caldo, e trovansi perciò ri-
„ strette a quella sola plaga del nostro mare interno, dove possono godere di
„ una maggiore copia di calore.

« . . . . . . Non meno istruttivo è il tener dietro alla diffusione attuale delle
„ specie secondo la diversa latitudine. Abbiamo visto che già entro lo stesso Me-
„ diterraneo, quantunque ristretto fra pochi gradi, tale influenza si fa già sentire
„ abbastanza sensibilmente. Facciamo ora astrazione di 15 specie che non pas-
„ sano lo stretto di Gibilterra; ce ne restano ancora 32 comuni al Mediterraneo
„ ed all'Adriatico. Or bene, osservando la loro estensione a nord e a sud, si vede
„ che 5 sole si spingono a nord fino a toccare le coste della Norvegia e della
„ Svezia meridionale, e sono tra quelle che hanno una maggiore estensione geo-
„ grafica; 5 si arrestano alle coste di Francia e d'Inghilterra; 4 piegano sulle coste
„ di Spagna e di Marocco, senza spingersi nè più in su, nè più in giù. Mentre
„ d'altra parte ne abbiamo 20, quasi i due terzi, che non piegano punto al nord,
„ ma diffondono le loro colonie lungo le aduste rive del Marocco, delle Canarie
„ e del Senegal. Una tra le altre, la *Cancellaria cancellata*, fu rinvenuta perfino
„ alla Guinea. Le isole di Madera accolgono 7 fra le nostre specie, e 6 si pos-
„ sono raccogliere ancora presso il più lontano gruppo delle Azzorre (1) ».

Conchiudendo, non dirò col signor Sordelli che la fauna glaciale di Cassina Rizzardi abbia decisamente *un carattere tropicale*; nè col sig. C. Mayer che sia comparabile a quella del Mar Rosso (2) perchè alla fin dei conti, su cinquanta specie viventi quarantasette, come ci ha detto or ora il Sordelli, *vivono tuttora nel Mediterraneo e la più parte trovasi sparsa ovunque, talvolta in molta abbondanza, lungo le nostre coste.* Dirò dunque semplicemente che il clima dell'antico Adriatico glaciale era un clima decisamente mediterraneo, piuttosto più dolce che meno di quello che regna nelle regioni mediterranee più calde. Questo fatto non basta più certamente a dar ragione al signor Sordelli ed a' suoi asseeli di negare, come hanno fatto, che la fauna di Cassina Rizzardi e di tutto l'anfiteatro morenico di Como non sia la fauna marina dell'epoca glaciale, anzi di negare che le morene

(1) Sordelli, *La Fauna marina della Cassina Rizzardi* (pag. 15, 16, 17).

(2) Desor, *Controverse glaciaire (Archives de Jenève*, T. LVII). — Sordelli, *Observations sur quelques plantes fossiles du Tessin meridional* (Ib. t. LIX).

non siano morene, e l' anfiteatro non sia un anfiteatro. Basta invece a porre, innanzi alla scienza non pregiudicata, netto e sicuro questo problema: —*Come si spiega che quell' antico mare al piede delle Alpi, a cui mettevano capo tutti i grandi ghiacciai dell'alta Italia, e sul cui fondo essi edificarono i loro anfiteatri morenici, potesse essere popolato da una fauna ricchissima, di carattere mediterraneo e quasi subtropicale; da una fauna cioè che accusa un clima più mite di quello che regna sotto una latitudine come è quella della pianura e degli altipiani racchiusi tra gli Appennini e le Alpi?* — Ecco il problema che ci proponiamo di studiare, premettendo ancora una volta che, se non arrivassimo a scioglierlo, confesseremo la nostra ignoranza, ma le morene resterebbero morene, e la fauna glaciale resterebbe fauna glaciale.

La conclusione finale di questo paragrafo è dunque che, durante quel grande periodo d'invasione degli antichi ghiacciai, il clima terrestre sui versanti italiani delle Alpi fu mite, e probabilmente più mite di quello che vi regna attualmente; il clima marino poi non solo fu mite, ma decisamente caldo. Quello che dubbiosamente ho emesso nel mio *Corso di Geologia* e più tardi con asseveranza nelle pubbiche conferenze tenute a Milano nel 1874, prima delle grandi scoperte relative alla fauna glaciale-marina degli anfiteatri morenici di Como e d'Ivrea; ora lo ripeto con tale certezza, in seguito alla scoperta di quella fauna, che sarebbe ostinazione l' opporsi. Il clima dell' epoca glaciale fu un clima caldo, o almeno mite come l'attuale: non si possono dunque più cercare nel freddo le ragioni dell'avanzamento degli antichi ghiacciai, nè conseguentemente nel caldo quelle del loro regresso. Bisogna adunque cercarle nell' altro fattore, cioè nell' umidità. L' epoca glaciale deve aver avuto un clima umido, quindi piovoso o nevoso; al regresso dei ghiacciai, cioè al periodo dei terrazzi, deve aver quindi corrisposto un clima secco. In altre parole, ad un'epoca di piene deve esser succeduto un'epoca di magre.

Cadono così tutte le ipotesi intese a cercare le ragioni dell'epoca glaciale in una causa qualunque che avesse potuto produrre del freddo sulla superficie del globo. Non vorremmo nemmeno parlarne. Siccome però alcune di tali ipotesi acquistarono celebrità, e furono con molta serietà sostenute, ne faremo parola, col vantaggio di eliminare sempre più l'idea del supposto freddo, la quale obbligò i suoi sostenitori ad immaginare le più inaudite stranezze, per non piegarsi nemmeno all' evidenza. Passeremo in seguito a dimostrare ciò che risulta come legittima conseguenza dello studio della fauna e della flora glaciali, essere stata l' epoca glaciale, non già un' epoca di freddo, ma un'epoca di umidità e, per conseguenza di piogge e di nevi: un'epoca di siccità relativa esser stato invece il periodo del regresso. Chi volesse seguitar l'argomento, come io lo consiglio, salti il § 5.° e vada subito al 6.°

5. Cenno sopra alcune ipotesi nelle quali si considera il freddo come causa dell'epoca glaciale.

Si scrissero dei volumi sull'ipotesi che l'epoca glaciale dovesse attribuirsi ad una trasposizione dell'asse terrestre. Si giunse ad immaginare dei periodi di caldo e di freddo, come anche dei diluvî periodici, o in conseguenza di straordinarie perturbazioni astronomiche, o per effetto di quelle oscillazioni a cui l'asse del nostro pianeta è realmente soggetto. Da quanto ho letto finora in proposito, mi sono convinto che i fabbricatori e i sostenitori di tali ipotesi conoscono pochissimo la storia dell'epoca glaciale, ed hanno un'idea falsissima dei fenomeni che si verificarono in quell'epoca, principalmente per ciò che riguarda l'estensione, la potenza e la distribuzione geografica degli antichi ghiacciai. A quelli i quali credessero che vi sia realmente qualche cosa di serio in quelle ipotesi astronomiche dirò semplicemente così: coll'immaginazione si può volgere il globo come meglio piace, fino al punto, per es., che l'asse equatoriale divenga polare e viceversa. Certo l'equatore avrà in questo caso un' epoca glaciale, ma a patto però che i poli abbiano contemporaneamente un'epoca di bollori africani. Sappiamo invece che l'epoca gla-

ciale fu un fenomeno universale, sappiamo che tutti i ghiacci marini od alpini, tutti si svilupparono ed avanzarono come farebbero in oggi, quando ce ne fosse ragione, sempre in proporzione delle rispettive latitudini ed altitudini, cioè salvi pienamente i loro rapporti astronomici e le loro condizioni orografiche. Sono i ghiacci boreali che si dilatarono, invadendo la Scandinavia e le Isole Brittaniche; sono i ghiacci australi che invasero la Patagonia e la Nuova Zelanda. Così nelle regioni di mezzo, gli Stati Uniti, l'Italia, il Libano, ecc., furono invasi da quelle nevi, i cui residui veggonsi ancora sulle cime delle rispettive catene. Insomma il fenomeno glaciale fu uniforme, in corrispondenza colle latitudini, col suo *crescendo* dalla zona torrida alla temperata, dalla temperata alla fredda. La corrispondenza tra la distribuzione delle nevi e dei ghiacci e del clima in genere tra l' epoca attuale e la glaciale è mantenuta così scrupolosamente che, come in oggi, noi troviamo nell'epoca glaciale indicata una differenza di 10 gradi geografici tra il clima e lo sviluppo glaciale del Nord America a quello dell' Europa. È noto cioè che le linee isotermiche si abbassano attualmente verso l'equatore di 10 gradi di più verso l'America che verso l'Europa. Questa differenza è meritamente attribuita alla così detta Corrente del golfo, che viene a riscaldare le coste d'Europa, mentre quelle degli Stati Uniti sono bagnate dalla fredda corrente che discende dall'Oceano artico per la baja di Baffin. Gli studî sulla estensione degli antichi ghiaccaii nel Nord-America dimostrano come essi avevano appunto su per giù un vantaggio di 10 gradi di latitudine sopra quelli dell'Europa. Dunque, nell' epoca glaciale la Corrente del golfo, e la Corrente polare esistevano come in oggi, agivano come in oggi, il che vuol dire insomma che il mondo era al suo posto come in oggi. Terminerò col dire che studî recenti del prof. Schiapparelli hanno dimostrato a tutto rigore di calcolo che, nei limiti della scienza astronomica positiva, le oscillazioni dell'asse terrestre sono tali che non potranno mai produrre alcuna modificazione appena sensibile del clima del globo.

Un'altra ipotesi che minaccia di diventar di moda è quella di un gran freddo che può essere stato prodotto, e potrebbe ancora prodursi, per uno straordinario ingrandimento delle macchie solari. Ma si aspetti almeno che gli astrononi ci dicano qualche cosa di più accertato sulla natura e sulla causa di codeste macchie, conosciute da troppo poco tempo perchè si sia potuto studiarle un po' per bene. Le macchie solari vanno soggette invero a meravigliose variazioni, sia per riguardo al loro numero, sia per rapporto alla rispettiva grandezza. La storia ci avrebbe conservata memoria di parecchie epoche in cui l'intensità della luce del sole apparve sensibilmente scemata. Nel 353 e nel 626 dell' êra volgare il sole rimase oscurato per parecchi mesi. Il padre Secchi nel riferire questi fatti non dubita di esprimere il suo giudizio, che cioè siano stati male osservati, indubbiamente poi riferiti con molta esagerazione (1). In ogni caso poi si trattava di un vero oscuramento del sole, o di un oscuramento dell'atmosfera terrestre? di un fenomeno astronomico, o di un fenomeno metereologico? . . . .

Comunque, non dimentichiamoci che per fare del ghiaccio ci vuole anzitutto dell'acqua; o per dir una cosa nel nostro caso più esatta, che per fare dei ghiacciai ci vogliono delle nevi. L'acqua per fabbricare la neve l'atmosfera va a pomparla nei torridi mari, che bollono sotto il fuoco dei tropici. Se m'abbujate il sole, ci farete gelare; non v'ha dubbio. È terribile ciò che ci minacciano, secondo alcuni, codeste macchie solari. Ma abbujando il sole, cioè diminuendone il potere calorifico, rallenterete anche il movimento della gran pompa idraulica che attinge l'acqua ai mari tropicali; e peggio ancora, diminuirete la quantità d'acqua che quella pompa può fornire; voglio dire si diminuirà necessariamente la quantità di vapori da trasportarsi dai venti e destinati a trasformarsi in pioggè e nevi e quindi in ghiacciai. Avremo dunque trovato il mezzo piuttosto, di diminuire che di accrescere la potenza dei ghiacciai. Si tratta, come abbiam detto sopra, di un alambicco. Fate pur che si raffreddi cento gradi sotto zero il serpentino.

(1) Secchi, *Le Soleil*, pag. 119.

Che importa se sotto la cucurbita spegnete il fornello. Lasciamo dunque in pace l'asse della terra e le macchie del Sole. Vediamo se la geologia positiva, che ormai può far a meno delle ipotesi, sa trovare le ragioni dell'epoca glaciale in qualche fatto, che possa dimostrarsi con quei criteri ch' essa possiede. Nel caso negativo, rinunzieremo piuttosto a cercare le ragioni di quel grandioso fenomeno che a cercarle in un' ipotesi.

6. L'epoca glaciale fu un' epoca d'umidità ossia di piogge e di nevi.

I ghiacciai, ripetendo quel che abbiam detto da principio, possono ritenersi come indizio tanto di freddo quanto d'umidità. Siccome abbiamo dimostrato nel modo il più incontrastabile ed evidente che lo sviluppo degli antichi ghiacciai non è punto dipeso da un freddo maggiore di quello che si osserva attualmente, anzi ebbe luogo mentre regnava un clima in genere più mite dell'attuale e in certi luoghi decisamente caldo; così i ghiacciai stessi devono, per necessaria conseguenza, indicare semplicemente un aumento d'umidità. La stessa esistenza degli antichi ghiacciai diventa così il primo e principale argomento di un clima umido, piovoso, nevoso. Sì: ad onta che il clima terrestre fosse in genere più mite; ad onta che le coste fossero bagnate da mari più caldi; ad onta di ciò, anzi appunto per ciò stesso, cadevano sulla superficie del globo tali diluvi di neve, che l'estate non valeva a distruggerla, e i suoi residui annuali, più abbondanti che in oggi non sono, formavano più poderosi ghiacciai: e i ghiacciai scendevano giù, in mezzo alle selve di pini, d'abeti, di noci, e fin di magnolie e di palme: trovavano il mare e vi tuffavano le loro fronti a squagliarsi nei tepidi bagni.

Anche attualmente dov' è che i ghiacciai hanno, a pari condizioni di latitudine e di altitudine, un maggiore sviluppo? Dove fa più freddo o dove piove di più? — Dove piove di più, purchè vi siano naturalmente le condizioni perchè le nevi perpetue si formino. Si osserva infatti che in genere i ghiacciai sono più sviluppati sui versanti occidentali che sugli orientali. Il sistema della circolazione atmosferica porta che in ambedue gli emisferi (si intenda però unicamente delle zone temperate) i versanti occidentali sono i più piovosi e nevosi. Questo si osserva in Groenlandia e in Norvegia, come nella Nuova Zelanda. Si potrebbe opporre che i versanti occidentali delle nostre Alpi sono più nevosi degli orientali. Io non credo però che si sieno fatti dei confronti abbastanza studiati per rapporto alla quantità annuale di nevi tra i versanti italiani delle Alpi e gli opposti. Le nevi persistenti e i ghiacciai sembrano però realmente più sviluppati dalla parte della Svizzera che verso la Lombardia e il Piemonte. Vi sono però in Italia ghiacciai e gruppi di ghiacciai così enormi che invero non mi saprei decidere a darla vinta alla Svizzera, se prima non si stabiliscono dei calcoli abbastanza attendibili. Il gruppo dei ghiacciai del monte Bianco che discende verso l'Italia è veramente minore di quello che discende dalla parte della Svizzera.? I ghiacciai che discendono dal monte Rosa nella Val Anzasca e nella Val Sesia sono minori di quelli che discendono verso il Valese? La stessa domanda io ripeterò per i gruppi della Valtellina, dell'Engadina, ecc. Quanto ai celebri ghiacciai delle Alpi Bernesi poi sappiamo che precisamente sui versanti occidentali presentano quel gruppo che è il più poderoso delle Alpi.

Ma se vogliamo, secondo me, il facsimile delle regioni invase dagli antichi ghiacciai; se vogliamo cioè un paese il quale sia classico ugualmente per la dolcezza del clima, per lo sviluppo dei ghiacciai e per la quantità della pioggia, conseguentemente delle nevi che sono certamente la causa diretta di tale sviluppo, prendiamo un'altra volta la Patagonia occidentale. Essa è, lo sappiamo, il paese più piovoso del mondo: al tempo stesso è quel paese dove abbiamo veduto, tra il 45° e il 50° di latitudine, con un clima mitissimo, cioè con medie annuali di 11° a 16° C., i limiti delle nevi perpetue abbassarsi fin verso i 500 metri sul livello del mare, ed i ghiacciai giungere fino al mare, ed avanzarsi. Qui si tocca proprio

con mano che, ammesso quanto basta di freddo perchè la neve si formi, non dal maggior freddo, ma dalla maggior quantità dei vapori atmosferici da condensarsi, dipende lo sviluppo dei ghiacciai. Nella lettera già citata del signor Giordano si legge quanto segue: « Nel deserto di Atacama a Nord di Copiapo si può dire che non piove mai. Appena più a Sud (cioè verso il 28° di latitudine), sotto l'influenza dell'umidità portata dai venti di ovest, incomincia a piovere. La quantità annuale della pioggia aumenta rapidamente fin verso Conception e Valdivia, al 40° di latitudine, dove si suol dire che piove 13 mesi all'anno. Il totale annuo delle piogge raggiunge l'altezza di 2m,60 circa. Seguitando verso sud, la pioggia diminuisce gradatamente fino a Magellano, dove si calcola solo a 0m,55 circa ». Il massimo delle piogge abbraccia una zona che si misura in larghezza circa dallo sbocco Nord dello stretto di Magellano fino a metà via tra Conception e Valparaiso. Si badi che è precisamente entro questa zona che i ghiacciai discendono fino al mare, e che si abbassa rapidamente il limite delle nevi perpetue. Le piogge vi sono così continue che i taglialegna, propriamente parlando, non si vestono mai, ma si buttano adosso dei panni da levarsi di tanto in tanto quando siano inzuppati. La flora dei terreni umidi ci trova proprio il suo regno. I funghi, i muschi e simil genere di piante si levano così alti da formare quasi delle selve, dove uno si affonda fino al collo. Le piogge vi cadono così torrenziali, dice Maury, che si può talvolta attingere l'acqua dolce sull'acqua salsa del mare sulla quale galleggia. Per ciò che riguarda la quantità annuale delle piogge, la cifra di 2m,60 dataci dal Giordano pel 40° di latitudine dev'essere molto inferiore a quella che si troverebbe più a sud tra il 45° e il 50°, cioè sulle coste della Patagonia occidentale, dove abbiamo appunto i ghiacciai marini. Il citato Maury cita le osservazioni di Silke, secondo le quali vi sarebbero caduti dall'aprile all'ottobre 15m,37 di acqua pluviale, e del capitano King, il quale ne misurò 4m,222 in 21 giorni. Nel mio *Corso di Geologia* (1), ho spiegato le cause di queste così eccezionali condizioni meteorologiche. Ciò che a noi preme intanto di sancire ancora una volta è questo che, in una regione come la Patagonia occidentale in cui abbiamo un clima singolarmente mite e straordinariamente piovoso, il limite delle nevi perpetue si mantiene assai più basso, ed i ghiacciai hanno acquistato e mantengono uno sviluppo assai più considerevole che in molti altri paesi, per es. nelle Alpi, dove sotto le stesse latitudini il clima è molto più freddo. Tra i limiti inferiori dei ghiacciai della Valle di Chamony, tra il 45° e il 46° di latitudine, e quello dei ghiacciai della Patagonia sotto lo stesso grado di latitudine a sud, c'è l'enorme differenza di più di 1100 metri: voglio dire che, per essere uguali a quelli della Patagonia, i ghiacciai del monte Bianco dovrebbero discendere 1100 metri più basso, cioè fino a Venezia da una parte o fino al golfo di Lione dall'altra.

Ora veniamo a noi. Se l'epoca glaciale fu un'epoca di grandi ghiacci, appunto perchè un'epoca di grandi piogge; come abbiam trovato così chiari indizi di grandi ghiacciai, dobbiamo trovare pur quelli di grandi correnti, ed in tali circostanze che le supposte antiche correnti mostrino di essere come la continuazione o la sostituzione degli antichi ghiacciai nelle diverse regioni. Infatti se nevica disopra ai limiti delle nevi perpetue, piove, durante la calda stagione, al disotto. D'inverno poi nevica al piano e al monte; ma la neve caduta nella regione al disotto delle nevi perpetue, disgela. Le correnti che ne risultano saranno tanto più forti quanto è più abbondante la neve caduta. Quante volte le disastrose innondazioni del Po sono prodotte dal disgelo delle nevi in primavera! Conchiudendo; noi abbiamo tutte le ragioni di esigere che il geologo, come ci ha mostrato gl'indizi di un'epoca glaciale, ci mostri quelli di una contemporanea epoca fluviale: e come fu universale il fenomeno dell'enorme sviluppo dei ghiacciai; così dev'essere universale quella delle piene delle correnti. Ci sono codesti indizi? — Prevengo che per sventura la questione dell'epoca glaciale sotto questo punto di vista fu pochissimo studiata. I geologi in generale, infatuati da

(1) Vedi Cap. III, Vol. 3.

codesta idea del freddo che a lor parve dovesse tutto spiegare, non si curarono per nulla di vedere se piovesse o non piovesse in quell'epoca. Tuttavia in questi ultimi tempi anche molti argomenti di un'epoca diluviale furono raccolti. Il Laporta (1) dice addirittura che i fiumi d'Europa non sono che ruscelli in confronto di quelli che vi scorrevano altra volta. Quest'epoca di piene non può essere di molto anteriore all'attuale, mentre è indicata per le stesse valli, per gli stessi fiumi che noi vediamo in magra attualmente. È già per questo probabile la coincidenza tra l'epoca glaciale e codesta epoca diluviale. Una volta poi dimostrato che l'epoca glaciale non poteva essere che un'epoca diluviale, questo legame necessario tra i due fenomeni dello sviluppo dei ghiacciai e di quello delle correnti è certo argomento dell'unità dell'epoca in cui gli stessi due fenomeni ebbero luogo.

Venendo a qualche cosa di più definito, che ci dicono anzi tutto quelle grandi masse alluvionali, dove sono sparse le reliquie dell'*Elephas meridionalis*, e già da noi riconosciute come equivalenti del terreno glaciale (2)? Le grandi pianure che terminano coi grandi delta del Rodano, del Reno, del Gange, del Nilo, del Mississipì, ecc., di fattura relativamente recente, sono tali masse d'alluvione, dicono tali riempimenti di mari a' piedi dei continenti, che non sono più in corrispondenza nè colla portata dei fiumi attuali, nè colla brevità dei tempi storici o preistorici. Certo per tutti quei fiumi, come pel Po è evidentissimo, il massimo lavoro di colmata, ossia di riempimento del rispettivo mare in cui mettevano foce dopo il sollevamento del rispettivo continente, ebbe luogo prima dell'epoca attuale, e accenna appunto un periodo di erosioni attivissime, di depositi alluvionali potenti, insomma un periodo di grande attività da parte delle correnti terrestri.

La cosa riesce ancora più evidente quando si osservino, invece delle regioni evidentemente alluvionali, quelle dove scarseggiano le pioggie, dove, per conseguenza sono deboli e rare le correnti, e scarso il prodotto delle moderne alluvioni. È un fatto che in questi paesi, scarsi di piogge, poveri o destituiti di fiumi, le alluvioni e le erosioni fluviali non mancano; talora sono tali da indicare una attività torrenziale, di cui l'idrografia attuale di quegli stessi siti non saprebbe nemmen darci un'idea. Alluvioni ciottolose, letti di torrenti profondamente scavati, grandi valli terrazzate, nulla manca a costituire un grande sistema idrografico. Quello che manca è l'acqua. I fiumi son divenuti ruscelli, e in molti casi del torrente non rimane che il letto, vuoto ed asciutto da secoli e secoli. Insomma è una idrografia che si osserva in quei posti; ma un'idrografia del passato. Questa descrizione benchè senza soggetto, è tutt'altro che immaginaria. La Siria, la Palestina, tutto l'Oriente in una parola, sono in queste condizioni. Io ho dato una descrizione abbastanza particolareggiata e ragionata dell'attuale idrografia di tutte le regioni dipendenti dal Libano e dall'Antilibano, dove per cinque o sei fiumi, che da noi non avrebbero nome, abbiamo centinaja e migliaja di *Waddi*, i quali non sono altro che letti di antiche correnti scomparse, esaurite precisamente come si esaurirono nelle Alpi gli antichi ghiacciai (3). È sull'esistenza di questi *Waddi* e di depositi fluviali e torrenziali fuori del corso delle acque attuali che il signor Lartet insiste per dimostrare che in Palestina un periodo diluviale precedette certamente l'epoca attuale (4). La cosa è ancora più rimarchevole in quella regione che si può chiamare l'impero della siccità. Parlo del Sahara.

Nella grande catena dell'Atlante, ed in tutti i rilievi nel Nord dell'Africa che sovrastano al gran deserto si osservano erosioni e depositi alluvionali che sono affatto sproporzionati alla potenza delle attuali correnti in quei posti, noti a

(1) *Le monde des plantes*, pag. 118.
(2) Vedi sopra Cap. XIV.
(3) Stoppani, *Parallelo fra i due sistemi dell'Alpi e del Libano* (Nuova Antologia di Firenze, 1875).
(4) Lartet, *Essai sur la Géologie de la Palestine*, Paris, 1869.

tutto il mondo per tutt'altro che piovosi. Vi furono dunque una volta anche in quei paesi grandi piogge e per conseguenza grandi correnti, capaci di deporre delle alluvioni estese, profonde e a grossi elementi. Apparterebbero, per es., alle alluvioni di quel tempo quei grandi depositi di ciottoli segnalati da Pomel nella valle di Chèlif nell'Atlante (1). Alla stessa causa Desor vorrebbe attribuite quelle grandi spettacolose erosioni, che caratterizzano quella parte di deserto che forma cornice al Sahara algerino dalla parte di nord, e fu da lui chiamato appunto *Désert d'érosion*. Il bisogno di brevità, che si fa sentire sempre maggiore mano mano che ci avanziamo verso la fine, mi persuade a non ammassare troppi particolari. Ricordi soltanto il lettore che, quando ancora non s'era detto parola degli antichi ghiacciai, tutti i geologi erano già d'accordo nell'ammettere una grand'epoca diluviale. Sottratto ai dominii delle antiche alluvioni il cosidetto terreno erratico, sottratti insomma le morene e gli altipiani morenici che si osservano nell'interno o immediatamente ai piedi dei grandi rilievi da cui dipendono gli antichi ghiacciai, le grandi alluvioni rimangono ancora, si può dire, intatte, in tutta la potenza, affermando per gli antichi fiumi, in confronto degli attuali, quella straordinaria esuberanza che per gli antichi ghiacciai, in confronto degli attuali, attestano le morene e gli anfiteatri morenici. L'epoca glaciale fu un'epoca diluviale.

Ci vorrebbe ora la controprova. Se il progresso degli antichi ghiacciai corrisponde ad un'epoca di umidità, ossia di piogge e di nevi; il regresso deve corrispondere ad un'epoca di siccità, ossia di relativa scarsezza di piogge e di nevi. Che ad un'epoca diluviale abbia tenuto dietro un'epoca di relativa siccità, è un fatto che si deduce dagli stessi fatti coi quali abbiamo dimostrato la verità della stessa epoca diluviale. I *Waddi* della Siria mostrano che prima pioveva molto di più, e che poi fino ad oggi vi piovve molto di meno. La controprova sta dunque unicamente nel dimostrare che il regresso dei ghiacciai coincide col periodo di siccità conseguente a quello d'umidità esuberante. Ed è appunto così, talmente che il fenomeno dei terrazzi alluvionali (corrispondente, come abbiam veduto, al periodo del regresso dei ghiacciai) non si può spiegare altrimenti che coll'ammettere un lungo periodo di piene a cui abbia tenuto dietro un lungo periodo di magre. Il fenomeno del terrazzamento alluvionale insomma attesta ugualmente questi due fatti: che il periodo del progresso dei ghiacciai fu un periodo d'umidità esuberante; un periodo di siccità invece quello dei terrazzi corrispondente al periodo di regresso. La tesi fu già da me trattata e risolta in questo senso fin dal 1873 nel mio *Corso di Geologia* (2). Non debbo far altro adunque che riportare qui quanto scrissi allora su questo proposito.

7. Il periodo dei terrazzi, ossia del regresso degli antichi ghiacciai, fu un periodo di siccita' ossia di magre.

Terminando il capitolo dei terrazzi (3), abbiamo lasciata intatta la questione circa la causa che determinò la formazione dei terrazzi stessi (4). Fu un aumento nella quantità delle acque, cioè un rigonfiamento delle correnti? Molto s'è scritto infatti sulle poderose inondazioni prodotte dallo squagliamento degli antichi ghiacciai, quasi il ritirarsi di quelle sterminate masse di ghiaccio fosse stato affare di un giorno; quasi il solo motivo del ritiro dei ghiacciai potesse essere il caldo e non anche il difetto d'alimento; quasi la massa d'acque che esce da un ghiacciajo non fosse corrispondente alla mole dello stesso ghiacciajo, e non dovesse scemarsi col scemarsi di esso. Tutto invece concorda a farci credere che il periodo glaciale

(1) Pomel, *Le Sahara*, ecc. Alger, 1868. — Desor, *La mère Saharienne*, Neuchâtel, 1379,

(2) Vol. II, cap. XXX.

(3) Vedi sopra, cap. XV, § 4.

(4) La materia del presente paragrafo è presa dal mio *Corso di Geologia*, vol. II, §§ 1292-1306, pubblicato nel 1873.

fu piuttosto un periodo di umido che un periodo di freddo; mentre il periodo della ritirata dei ghiacciai che coincide col periodo de' terrazzi, fu piuttosto relativamente un periodo di siccità che un periodo di caldo. Il periodo glaciale sarebbe stato dunque a preferenza un periodo di piena, e il periodo dei terrazzi un periodo di magra. Non è semplice opinione la mia, ch' io opponga all'opinione più ricevuta di grandi alluvioni nel periodo postglaciale. Ammesso, come è necessario d' ammettere, che i terrazzi più alti nelle regioni subalpine non siano che gli avanzi di alluvioni fluvio-glaciali, e precisamente dell'epoca glaciale, e supposto che, posteriormente all' epoca glaciale, siavi stato un incremento nella forza erosiva delle correnti, dovremmo trovare nelle alluvioni posteriori, cioè nelle alluvioni inferiori dei terrazzi, un aumento nella mole degli elementi che le costituiscono. Nulla di tutto ciò. Rimontate tutte le valli lombarde, e vedrete quanta potenza di detrito e quanto volume di elementi caratterizza i più alti terrazzi d' alluvione in confronto delle alluvioni moderne. Vedrete insomma come l'alluvione più antica accusi una maggior potenza erosiva delle correnti.

Un'altra ipotesi, adottata, pare, quasi universalmente, e da me pure sostenuta nelle mie *Note ad un corso di geologia*, è quella che ritiene i terrazzi conseguenza di quel sollevamento dei continenti che abbiamo veduto essere fenomeno caratteristico del periodo dei terrazzi. A misura che un continente si alza, i fiumi devono abbassarsi, poichè, accresciuto il pendìo dal sollevamento, è aumentata la velocità, quindi accresciuta la forza erosiva dei fiumi. Supponete, p. es., che la valle del Po venisse sollevata oggi un centinaio di metri; le foci del Po troverebbonsi, per rapporto all'Adriatico, nelle condizioni di una cascata. Il Po, accresciuta così enormemente la sua forza erosiva, inciderebbe il suo letto, finchè la sua foce non avesse raggiunto il livello dell' Adriatico, non fosse cioè scavata alla profondità di 100 metri entro l' alluvione: più il fiume (supposto naturalmente senza arginature) serpeggiando vorticoso da sinistra a destra e da destra a sinistra, roderebbe i suoi antichi depositi entro i quali è incassato, portandoli al mare, finchè dell'attuale pianura non rimangano che i lembi laterali o protetti dalle forme orografiche, o preda serbata alle future erosioni. L'incassarsi del Po reagirebbe naturalmente sui confluenti, i quali dovrebbero infossarsi alla lor volta tra due terrazzi per raggiungere il recipiente, e così via via finchè l' effetto sia giunto in seno alle Alpi, le cui valli si trovano infatti terrazzate fin nei più alti recessi.

In un eccellente lavoro in cui c'è a desiderare soltanto pari la chiarezza della esposizione alla profondità e giustezza delle vedute (1), il mio amico professore Taramelli combatte questa teoria. Non nega certamente che le alluvioni possano venir terrazzate nel modo suddetto. E invero se il delta del Po si sollevasse, esso delta verrebbe inciso dal fiume, che tenderebbe immediatamente a rimettersi ne' suoi primitivi rapporti col mare, e il delta rimarrebbe terrazzato. Non nega nemmeno che esistano difatto dei terrazzi alluvionali che devono la loro ragione al sollevamento; e sono tali certamente quei terrazzi che terminano a valle con lidi marini sollevati. Ma che così si spieghi il fenomeno dei terrazzi nella sua universalità, e che, scendendo ai particolari, la teorica esposta spieghi, p. es., i terrazzi del Po e de' suoi confluenti, questo è quello che il Taramelli nega recisamente e giustamente. Cercherò di esporre a mio modo gli argomenti che egli adduce, e di rendermi chiaro alla comune dei lettori, invitando però i geologi e gli idraulici a studiare la Memoria del Taramelli, come quella che può portare nuova luce nelle questioni che riguardano le vicissitudini delle epoche posterziarie, e la teorica dei fiumi.

Prima objezione alla teorica del sollevamento, applicata alla spiegazione dei terrazzi, è la mancanza di lidi marini, in concorso coi terrazzi di tante regioni

(1) Taramelli, *Dell' esistenza di un' alluvione postglaciale nel versante meridionale delle Alpi, in relazione coi bacini lacustri, o dell' origine dei terrazzi alluvionali* (Atti dell' Istituto Veneto, Vol. XVI, ser. III, 1871).

alluvionali, nominatamente coi terrazzi del Po. I fiumi che mettono foce nel mare sono già incanalati. Il sollevamento delle foci, accrescendo il pendìo e quindi la forza erosiva delle correnti, non farebbe che produrre uno sprofondamento maggiore delle foci stesse, rendendo sempre più difficile l'erosione laterale, la quale unicamente potrebbe distruggere il lido marino che troverebbesi sollevato, e quindi sottratto all'azione del mare. Si può dunque stabilire, almeno per la generalità dei casi, che i terrazzi alluvionali, determinati dal sollevamento delle terre, devono terminare a valle con lidi marini. Ma l'esistenza di questi lidi è un fatto eccezionale, mentre l'esistenza dei terrazzi è un fatto generale. Dunque il sollevamento, se spiega alcune parzialità, non dà punto ragione della universalità del fenomeno.

Una seconda objezione sta in questo, che la formazione dei terrazzi non è conseguenza necessaria del sollevamento, non potendolo essere che allorquando si verifichino certe condizioni. Si osservi infatti che il sollevamento non può determinare un aumento dell'erosione fluviale, se non in quanto alteri il rapporto geometrico tra il fondo della corrente e il livello del mare, aumentando il pendìo di quella, mentre questo rimane costante. Può questo essersi verificato dovunque? Foss'anche; si consideri che la differenza di rapporto nel senso espresso deve essere scemata o anche interamente elisa dalla dejezione alla foce. Supponiamo che la foce di un fiume si sollevi di un metro in un dato tempo. La corrente dovrebbe discendere, scavando il proprio letto per l'altezza di un metro, affine di ristabilire i suoi primi rapporti col mare. Se però nello stesso tempo la dejezione, che si arresta alla foce, potesse guadagnare la potenza di un metro, l'effetto sarebbe perfettamente eliso, alzandosi il letto della corrente per dejezione di quel tanto che dovrebbe abbassarsi per erosione. Non essendovi abbassamento alla foce, esso non avrà luogo nemmeno nel tronco della corrente e nei confluenti: non si formeranno così nemmeno i terrazzi. L'erosione, quindi la formazione dei terrazzi, avrà luogo soltanto quando il sollevamento sia così rapido, che non lasci tempo alla dejezione di raggiungere quella potenza che ne compensi gli effetti. Ora ripugna il pensare che in tutto il globo si stabilissero tra il sollevamento e la dejezione i rapporti voluti dalla teorica, tanto più quando si consideri la lentezza dei sollevamenti da una parte e la rapidità dell'avanzamento del delta dall'altra, affermate dalla geologia, dalla storia e dall'esperienza.

Una terza objezione sta nel doversi ammettere un generale sollevamento, come condizione necessaria nell'ipotesi della generalità del terrazzamento. Che un sollevamento pressochè universale abbia avuto luogo dopo il periodo glaciale, e che tale sollevamento sia un fenomeno evidentemente caratteristico del periodo dei terrazzi, è un fatto che noi abbiamo ampiamente dimostrato. Abbiamo però dimostrato in pari tempo che questo sollevamento non si è esteso alla Venezia, cioè a quella parte della regione alluvionale padana, che trovasi a oriente del lago di Garda: che anzi quella regione ed una ben vasta porzione dell'Europa hanno sofferto un abbassamento. I terrazzi della Venezia, e chi sa quanti altri, non potrebbero dunque spiegarsi come effetto di un sollevamento.

Ci vuole pertanto una causa che, senza escludere le altre, ove dalle parzialità del fenomeno siano richieste, spieghi il fenomeno stesso della formazione dei terrazzi alluvionali nella sua innegabile universalità. Il professore Gastaldi nella sua Memoria *Sulla riescavazione dei bacini lacustri per opera degli antichi ghiacciai*, sostiene che i terrazzi si formarono pel semplicissimo principio che *le acque di magra erodono le dejezioni di piena.* È questo il principio che il Taramelli ed io abbiamo adottato e sosteniamo.

Cominciamo dai fatti più volgari, che certamente ciascun lettore deve aver osservato. Che cosa produce una piena straordinaria? Che cosa avviene, cioè, quando un torrente alpino, in seguito ad eccessive piogge, sbucando d'un tratto sull'aperto piano, esce dal proprio letto? Traboccando furioso e spandendosi lateralmente, e al tempo stesso abbandonando il detrito, che era capace di travolgere finchè trovavasi incanalato in seno ai monti, lascia, sullo spazio invaso, dei

cumuli d'indole caotica, produce cioè degli interrimenti, talora di potenza meravigliosa, per cui tanto il letto del torrente, quanto il suolo sui lati, subiscono un notevole rialzamento. Qui appare evidentemente come un periodo di piena, mentre accresce il valore dell' erosione a monte, aumenta quello della dejezione a valle. Un periodo di piena è adunque un periodo di esagerazione dei fenomeni torrenziali, tanto di quelli che riguardano l' erosione, come di quelli che si riportano alla dejezione. Cessato il parossismo della piena, noi vediamo il torrente rientrare nel proprio letto, od anche scavarsene un nuovo; il che vuol dire che noi vediamo il torrente incassarsi nelle proprie dejezioni, creando a destra e a sinistra un terrazzo. Ho osservato più volte il fenomeno come si verifica anche pei torrenti, i quali, in luogo di traboccare, non fanno che allargarsi entro un letto capace di contenere la piena. Quando la magra riduce il torrente sulla linea di maggior depressione, il letto abbandonato offre un vero sistema di terrazzi; piccoli, se volete microscopici, in confronto dei grandi terrazzi alluvionali, ma affatto simili ad essi nella disposizione e nella forma. Quei terrazzi segnano evidentemente altrettante sponde successive; notano quindi altrettanti periodi di regresso della corrente. Il fenomeno si ripete ad ogni alternarsi di piena e di magra. Ma se, dopo la piena traboccante, si perpetuasse la magra, o le piene fossero così scarse da non divenir traboccanti, il sistema dei terrazzi si conserverebbe.

Domandiamo ora come si verifichi temporaneamente e in piccolo un fenomeno così esattamente conforme a quanto ci presentano stabilmente in grande le regioni alluvionali terrazzate. Domandiamo di più come la forma a terrazzi, che è assunta talora di passaggio tra una piena e l' altra, dalle attuali alluvioni, possa divenire una forma stabile, come si verifica appunto nelle alluvioni antiche.

Non è esatto il dire, come si espresse il Taramelli, *che tutta la causa dell'incisione consiste nel raccogliersi delle acque di magra in un letto.* Ci sarebbe una petizione di principio; mentre il raccogliersi delle acque in un letto è già un incidere. Molto più felicemente invece si esprime, ove dice *che il terrazzamento si può considerare come un processo di cernita e di lavaggio.*

Per intendere ciò, analizziamo dapprima come avviene la dejezione nella piena. Noi sappiamo che la potenza erosiva di una corrente cresce o diminuisce col crescere o col diminuire della sua velocità, e questa col crescere o col diminuire dell'altezza della colonna d' acqua semovente (1). Sbucando all' aperta, la corrente si espande, l'acqua cioè si abbassa, e perdendo la forza di esportare, depone. Possiamo dividere in tre categorie i materiali che la corrente è costretta a deporre in questa circostanza. Nella prima categoria porremo i materiali troppo pesanti, che la corrente non può nè travolgere in sospensione, nè trascinare sul fondo, durante la piena traboccante, e molto meno nella magra che succede alla piena. La seconda categoria si compone di quei materiali che potrebbero essere travolti in sospensione, o trascinati sul fondo dalla piena, ma vengono ad arrestarsi impigliati nei materiali della prima categoria, che loro improvvisano un ostacolo ed una difesa contro la forza erosiva della corrente. Comprendiamo nella terza categoria quei materiali, per es., le sabbie più o meno grossolane, che possono essere tenuti in sospensione dalla piena incanalata, ma non possono che venire trascinati sul fondo dalla piena traboccante e dalla susseguente magra. Tutti i materiali compresi nelle tre categorie verranno abbandonati dalla piena traboccante, e creeranno quella dejezione, la cui indole più o meno caotica è esagerata nei così detti *coni di dejezione* (2), i quali, lo ripeto, non sono che una esagerazione delle alluvioni formate dalle piene traboccanti. Questi materiali però potranno essere esportati o dalla magra, o dalle piene successive non traboccanti, e la loro esportazione sarà appunto la causa della creazione di un letto della corrente e del suo progressivo sprofondamento; sarà causa cioè che la corrente s'incassi, e la alluvione

(1) Stoppani, *Corso di Geol.* Vol. I, § 179.
(2) Ib., § 187.

rimanga incisa e terrazzata. Per renderci ragione di questo processo, che può durare dei secoli, con mille alternanze di magre e di piene non traboccanti, consideriamolo in tre momenti o fasi successive. Consideriamo cioè:

1.° L'incisione primitiva prodotta dalla piena traboccante che si raccoglie nel proprio letto.

2.° Lo sprofondamento dell'incisione, ossia del letto, durante la magra.

3.° Il sempre maggiore sprofondamento dell'incisione stessa durante le piene non traboccanti.

Il primo momento, cioè l'incisione di un letto dopo la piena traboccante, è appunto un fenomeno di *cernita* o di *lavaggio*. La corrente infatti, benchè indebolita dall'espansione laterale e più ancora dalla magra sorvegnente, può tuttavia trascinare sul fondo i materiali della terza categoria, tenuti prima in sospensione. Dovette abbandonarli, cioè lasciarli cadere sul fondo, perdendo la facoltà di tenerli sospesi; ma non perdette quella di trascinarli sul piano inclinato che le serve di letto. Soltanto il nuovo lavoro sarà lento, e lungo assai, non potendo smuovere che uno strato dopo l'altro, non potendo cioè rodere che la superficie di un cumulo, che può avere acquistato in poco d'ora molti metri di spessore. Allo stesso modo, e colla stessa legge di lentezza e di successione, la corrente andrà smovendo quell'altro detrito (seconda categoria) che venne arrestato dai materiali di mole maggiore nella tumultuosa dejezione, e in questo appunto consiste più letteralmente la *cernita* intesa dal signor Taramelli. L'esportazione di una parte dei materiali costituenti il cumulo di dejezione produce naturalmente una diminuzione di massa; quindi un abbassamento della massa stessa, la quale potrà per mille accidenti, come si vede in pratica, determinarsi a preferenza sopra questa o quella linea, o come si direbbe, sopra l'una o sopra l'altra generatrice del cono di dejezione. Appunto su questa linea si raccoglieranno le acque di magra, divenendo una linea di massima depressione, cioè un letto inciso nella alluvione. Il secondo momento, cioè lo sprofondamento del letto durante la magra, non è che la continuazione del primo. L'esportazione dei materiali delle due categorie contemplate, una volta che la corrente si è raccolta sopra una data linea, continuerà su quella linea stessa, finchè duri un filo d'acqua e rimanga un granello che possa venir trascinato sul fondo (1). Così il letto della corrente andrà sprofondandosi sempre più, non rimanendo in esso che i materiali della prima categoria, superanti per ogni verso la potenza erosiva della magra.

Ma ove avvenga una piena, la corrente, alzandosi nel proprio letto senza però traboccare, potrà facilmente, se il letto stesso è già considerevolmente profondo, acquistare la forza sufficiente di smuovere anche i materiali maggiori, rotolando sul fondo i ciottoli e i massi abbandonati dalla piena traboccante e rispettati dalla magra. I ciottoli rotolati si erodono rapidamente. Il prodotto di tale erosione è un'impalpabile fanghiglia, che vien rapidamente travolta dalla torbida. I ciottoli stessi erosi divengono più leggeri, e quindi più facilmente esportabili dalle magre successive. Veda il lettore per quante ragioni la piena incanalata diviene *erodente* e come rapidamente può essere da una tal piena sprofondato il letto della corrente. È vero che l'erosione della piena può essere più o meno compensata dalla nuova dejezione che la corrente trascina dalle regioni superiori nelle inferiori. È molto facile però che tale compenso sia insufficiente, od anche nullo. Sarà insufficiente, per esempio, nel caso molto ordinario che una piena, incanalata a monte entro la viva roccia, venga a precipitarsi a valle attraverso le mobili alluvioni. Sarà anche nullo nel caso anch'esso non infrequente, che tra il tronco superiore e il tronco inferiore di una corrente in piena si frammetta un lago. Sarà dunque insufficiente o nullo nei casi che si verificano precisamente nei

(1) Tra i preziosi risultati degli studi eseguiti dall'*Istituto delle coste* sul Mississipì abbiamo anche questo, che non vi ha corrente così debole che non eserciti un'azione erosiva sul fondo composto di materiali incoerenti e leggeri, come sono le sabbie e le fanghiglie. A questa erosione si deve la formazione *della barra di foce*, la quale si trova allo sbocco anche dei fiumi, i quali, come il Mississipì, hanno un corso lentissimo (Stoppani, *Corso di Geologia*, Vol. I, § 258).

rapporti tra le grandi correnti alpine e le grandi regioni alluvionali di tutto il globo. In questi casi è evidente che la forza erosiva si risolverà in uno sprofondamento molto attivo del letto e nulla più.

Se una sola magra e una sola piena erodente, dopo una piena traboccante, possono produrre un considerevole sprofondamento del letto della corrente; lo stesso effetto, a scala proporzionalmente maggiore, sarà prodotto da un periodo di magre e di piene erodenti, che succedesse a un periodo di piene traboccanti. Supponiamo che una regione fosse soggetta ogni anno per un secolo ad una piena traboccante. Quale enorme cumulo di materiali alluvionali si eleverebbe su quella regione! Suppongasi ora un secolo di magre e di piene incanalate o erodenti. Quale profonda incisione non praticherebbero esse in seno a quella massa alluvionale!

L' applicazione della teorica esposta il lettore potrà farla facilmente da sè. Converrebbe soltanto provare che il periodo glaciale fu un periodo di piene traboccanti, e l'epoca dei terrazzi un periodo di magre e di piene erodenti. Noi abbiamo già dimostrato altrimenti l'epoca glaciale essere stata appunto un' epoca di maggiore umidità, quindi di maggiore abbondanza di acque e di nevi, e il periodo susseguente un periodo di relativa siccità. È un fatto questo che tanto i ghiacciai quanto le correnti presero dapprima un enorme sviluppo, e diminuirono poi. Ora la formazione dei terrazzi (fenomeno universale, che tenne dietro all'epoca in cui i ghiacciai attinsero il massimo sviluppo) come doveva essere conseguenza della sopravvenuta siccità, così ne diviene un'altra luminosissima prova. Durante l'epoca glaciale il globo trovossi in tali condizioni, che una quantità considerevolmente maggiore di vapori si mantenesse in circolazione nell'atmosfera. Conseguenza immediata dovea essere una maggiore concentrazione, una maggiore quantità di piogge e di nevi. I ghiacciai ottennero quindi uno sviluppo proporzionatamente maggiore, e uno sviluppo parimenti maggiore i torrenti che sbucavano dai ghiacciai, od erano immediatamente generati dalle piogge. I ghiacciai, scendendo fino allo sbocco delle vallate alpine e invadendo anche i limiti del libero piano del mare, misero i torrenti nelle migliori condizioni perchè le loro piene fossero traboccanti. Quei torrenti, sbucando furiosi dalle porte dei ghiacciai o dalle gole alpine, carichi di fango e di detrito morenico che si accumulava sulle loro sorgenti, perdevano immediatamente la forza di esportare, e deponevano tumultuosamente nel fondo del mare o sul piano la loro rapina. Così durarono per secoli. Enormi *talus* alluvionali si formarono così allo sbocco degli antichi ghiacciai. Ma le condizioni del globo si modificano. Una minor quantità di vapori è trasportata in giro dall'atmosfera: decrescono le nevi e le piogge; si dimagrano i ghiacciai ed i fiumi. Questi hanno maggior agio di scavarsi, col descritto processo, un letto capace di contenere le piene divenute più moderate. Di traboccanti che erano, le piene si son fatte erodenti, e i fiumi incidono profondamente, per secoli, le antiche deiezioni glaciali ed alluvionali. Gli immensi *talus* di dejezione si trasformano allora in pianure terrazzate.

Per l'applicazione al caso pratico, torna molto opportuno ciò che abbiamo detto circa le cause che possono rendere nullo il compenso che all'erosione prodotta dalla piena erodente nel tronco inferiore potesse venire dalla dejezione portatavi dal tronco superiore. Dicevamo che, per determinare tale nullità di compenso, basterebbe un lago che si estendesse tra il tronco superiore e l'inferiore. È questo appunto che si verifica per alcune delle principali valli alpine. I laghi lombardi, allo sparire dei ghiacciai che li occupavano, intercettarono ed intercettano, per rapporto alla erosione ed alla dejezione, ogni corrispondenza tra il tronco superiore e il tronco inferiore delle correnti. Il Ticino, l'Adda, l'Oglio, il Mincio, divenuti emissari dei rispettivi laghi, non ebbero più che ad erodere gli antichi cumuli glaciali e alluvionali, senza interruzione, senza compenso. Osservi il lettore quanto siano sviluppati i terrazzi del Ticino, dell'Adda, dell'Oglio, da cui abbiamo tolto gli esempi più classici per ciò che riguarda il fenomeno. Intercettata la comunicazione tra i tronchi superiori e gli inferiori dei principali confluenti, anche

il recipiente, cioè il Po, non poteva trovare un compenso proporzionato alle sue erosioni; e noi troviamo il Po profondamente incassato entro uno sviluppatissimo sistema di terrazzi. Son tutti argomenti che riducono a certezza la teorica esposta, la quale spiega la formazione dei terrazzi alluvionali, posteriormente all'epoca glaciale, come effetto di un lungo periodo di magre e di piene erodenti, succeduto ad un lungo periodo di piene traboccanti, per la considerevole diminuzione nella quantità dei vapori atmosferici, che ebbe per conseguenza l'impiccolimento dei ghiacciai e la diminuzione nella portata dei fiumi.

Quanto si è detto finora serve unicamente a spiegare come, in seguito all'ultima fase di avanzamento dei ghiacciai, i fiumi acquistarono la facoltà di erodere le loro proprie dejezioni accumulate durante l'epoca glaciale, e dovettero quindi scavarsi un letto profondo entro le proprie alluvioni e dentro lo stesso detrito d'origine glaciale. Non avremmo però raccolto finora nessun argomento che ci spieghi il modo particolarissimo con cui avvenne l'incassamento delle correnti nei detriti glaciali o alluvionali: che ci spieghi insomma il *terrazzamento* delle morene e delle alluvioni. Perchè mai le sponde, mentre andavano acquistando di altezza a misura che i fiumi guadagnavano di profondità, le sponde, dico, venivano assumendo la forma di altrettante gradinate? Perchè poi esse gradinate dovettero presentare tanta varietà nel numero, nell'altezza, nella larghezza dei gradini; varietà che si verifica tanto se si consideri una sponda in confronto dell'altra, quanto se si paragoni un punto coll'altro sulla stessa sponda? Ma il trattare anche tale questione che appartiene all'idrologia ed alla geologia generale ci allungherebbe il cammino di troppo. Io l'ho svolta ampiamente, con principî affatto nuovi, nel mio *Corso di Geologia* (1). Il lettore che desidera di vedere come una corrente, nell'atto stesso che erode, necessariamente terrazza, abbia la bontà di ricorrere al testo citato e forse gli verrà detto che la mia teoria del terrazzamento alluvionale valeva la pena di essere studiata dai geologi, i quali a quanto pare non ci hanno ancora badato, e continuano a dire in proposito le cose più strampalate, dimostrando una piena ignoranza dei fatti più positivi.

Potrei anche dimostrare come, ciò che risulta dallo studio dei fenomeni dei due periodi di avanzamento e di regresso degli antichi ghiacciai (essere cioè i medesimi ghiacciai nè punto nè poco in rapporto colla diminuzione o coll'aumento della temperatura, ma piuttosto colla maggiore o minor quantità di vapori atmosferici che viene a condensarsi sotto forma di neve), è in perfetta corrispondenza con quello che si è veduto verificarsi in questo nostro secolo. Ho già detto sopra che noi assistiamo ad una riproduzione su piccola scala degli stessi fenomeni ch'ebbero luogo nei due periodi dell'epoca glaciale. Io sto da lungo tempo preparando uno studio su questo interessante fenomeno; e benchè abbia a lottare contro l'estrema difficoltà di procurarsi dei buoni dati metereologici per un periodo il quale dovrebbe rimontare almeno cento anni addietro, credo di poter asserire con tutta certezza che il periodo di avanzamento dei nostri ghiacciai, verificatosi nella seconda metà del secolo scorso, per toccare il suo *maximum* tra il 1818 e il 1820, fu un periodo non di freddo eccedente, ma di piogge e di nevi esuberanti: mentre il regresso cominciato dopo il 1820, e continuato con lena straordinaria dal 1860 al 1878, fu un vero periodo di siccità relativa. Chiunque abbia almeno i 50 anni potrebbe trovare nelle proprie reminiscenze le prove di quanto asserisco. Basti intanto al lettore questo dato positivo che riguarda le giornate di neve indicate alla Specola di Milano in un primo sedicennio (dal 1812 al 1827), corrispondente al massimo progresso degli attuali ghiacciai delle Alpi, e in un secondo sedicennio (dal 1861 al 1876) corrispondente ad uno straordinario regresso che ancora continua. Nel primo sedicennio, quello del progresso, i giorni di neve furono 154: nel secondo sedicennio, quello del regresso, furono 105. Nella quantità delle nevi ci è dunque tra l'uno e l'altro sedicennio la differenza del terzo in più o in meno, differenza enorme e troppo eloquente. Intanto che i ghiacciai sotto gli occhi no-

(1) Vol. II, cap. XXX, 551307-1322.

stri si avanzarono o retrocessero, il clima non ha fatto le viste di accorgersene, e la media delle temperature annuali non ha sofferto che delle oscillazioni impercepibili, ed in nessuna corrispondenza coll'avanzamento o col regresso dei ghiacciai (1).

Sancito che l'epoca glaciale, considerata ne' suoi due periodi di progresso e di regresso, indica definitivamente un periodo di umidità e di piene antecedenti in corrispondenza con un periodo immediato conseguente di siccità e di magra, non ci resta che di cercarne le cause in qualche cosa che può e deve aver prodotto questo doppio fenomeno di umidità antecedente e di consecutiva siccità. Questa ricerca si fa nel capitolo che incomincia.

(1) Debbo all'estrema gentilezza del Sig. Celoria i dati qui offerti e quelli in molto maggior numero di cui potrò giovarmi nel lavoro che intendo eseguire.

XVII.

CAUSE DELL'EPOCA GLACIALE

CONSIDERATA COME UN DOPPIO PERIODO DI UMIDITÀ ANTECEDENTE E DI SICCITÀ CONSEGUENTE

1. Come possa variare la quantità assoluta dei vapori atmosferici.

Il fenomeno dell'invasione degli antichi ghiacciai è, come abbiam dimostrato, fenomeno tellurico, cioè verificatosi generalmente sulla superficie del globo. Sarebbe vano adunque il cercarne la ragione in un qualche cosa che avesse potuto esercitare un'influenza speciale piuttosto sulla regione delle Alpi, che sull'America del Nord o sulla Nuova Zelanda. Il clima dell'epoca glaciale dev'essere stato, prima più umido, poi più secco in tutte le regioni del globo. Dovette dunque esserne generale la causa. Soltanto dopo averla scoperta, potremo studiare gli effetti in quanto possono variamente interessare le singole regioni, e spiegare quelle specialità che riguardano ciascuna. Così noi faremo per l'Italia, venendo, dopo aver cercate le cause del clima glaciale in generale, a ricercare quelle speciali che possono aver fatte all'Italia condizioni più o meno diverse da quelle degli altri paesi.

Premetto una questione di massima. — Può variare nella sua universalità il clima del globo? — Certamente: la geologia l'attesta. Il clima delle epoche primitive fu caldo ed uniforme in confronto del clima attuale cui diremo, non freddo, ma vario, con eccessi localizzati di caldo e di freddo. — Quali possono essere le cause generali di codeste variazioni? — Se ricorriamo all'astronomia, al calore centrale, andrem sempre brancolando nel campo oscuro delle ipotesi, perchè nulla ci affida che i rapporti astronomici e le condizioni fondamentali del nostro pianeta siano state diverse da ciò che sono attualmente; ciò soprattutto se ci limitiamo a quel lasso di tempo che può solo fino ad oggi abbracciarsi dalla geologia positiva, la quale comincia a contare da un'epoca in cui il globo era già animato, e quindi su per giù nelle condizioni in cui si trova attualmente. Per me ritengo costante il calore solare, non avendo nessun motivo di crederlo variabile; e quanto al calore interno io lo ritengo perenne, quindi non soggetto nè a perdita nè ad aumento, come intendo d'aver dimostrato nel mio *Corso di Geologia* (1). Sono dunque costanti i primordiali fattori della climatologia del globo, i quali si riducono ad uno, cioè al calore, derivato da due fonti (2).

(1) *Corso di Geologia*, Vol. III, cap. II.

(2) Chiamo fattore primordiale della climatologia del globo il calore, come quello da cui dipendono per ogni verso gli altri, nominatamente l'umidità, prodotta dall'evaporazione che è il secondo grande fattore del clima.

Ritenuto che la quantità di calore destinata a produrre la temperatura del clima non possa variare, rimanendo costanti le due fonti, cioè il calore solare e il calore interno; che cosa invece può variare e varia, portando necessariamente delle modificazioni profonde alla superficie del globo, tanto se si consideri nelle sue parti come nell'insieme? Quello che può variare è l'esterna configurazione. Che essa abbia variato e varii costantemente non è che un fatto, costituente il dogma fondamentale della geologia.

Un altro fatto, costituente un altro dogma fondamentale tanto per la geologia come per la geografia fisica, è questo che, col variare della configurazione superficiale del globo, devono necessariamente variare le condizioni del clima. Certo se al posto delle Alpi si collocasse un mare, o al posto del mare si collocassero le Alpi, le condizioni climatologiche dell'Italia sarebbero, e chissà come, profondamente immutate. Quello che si dice per una speciale regione, dicasi per tutte; dicasi pel mondo intero, quando la configurazione della superficie del globo fosse dovunque più o meno radicalmente mutata. Non fa bisogno però nemmeno di un cambiamento universale della superficie del globo perchè tutta la climatologia tellurica trovisi più o meno profondamente modificata. Lo studio della dinamica terrestre, quello principalmente della circolazione atmosferica, ci mostra che tra tutte le parti del globo vi è tale solidarietà che non può sommergersi uno scoglio, disseccarsi un pantano, irrigarsi un prato senza che tutti i paesi del globo, nell'uno e nell'altro emisfero, non ne risentano un effetto, non trovino che il loro clima è cambiato (1). Da ciò caviamo la conseguenza legittima che tutte le variazioni verificatesi alla superficie del globo, tanto per le oscillazioni dipendenti dalle forze interne, come per la degradazione, la sedimentazione e tutto quanto dipende dalle forze esterne, devono aver apportate delle modificazioni universali alla climatologia terrestre, e queste tanto più profonde quanto più efficaci furono le cause suddette.

Si può dunque ridurre l'argomentazione a questo principio che il valore della causa primordiale della climatologia tellurica, cioè il calore, è costante, non potendo variare che gli effetti da esso, come da causa, dipendenti. I quali effetti poi variano necessariamente col variare della configurazione esterna del globo.

L'influenza che l'attuale configurazione del globo esercita su tutti i fenomeni meteorologici è tale che appena si riesce, dopo tanti secoli, a discernere alcune di quelle grandi leggi che presiedono alla distribuzione del calore, dei vapori e di tutti i fenomeni conseguenti sulla superficie del globo, prescindendo da quanto agisce come causa locale, in dipendenza dalle condizioni speciali di uno od altro paese. Infine la climatologia attuale ci si presenta, per dir così, tutta specializzata nelle specialità dell'attuale configurazione della superficie del globo. Dove, per es., si determinano le pioggie e le nevi sotto le diverse latitudini? Là dove esistono dei rilievi, e tanto più quanto più essi sono elevati. Dove fa più caldo? Là dove esistono dei piani molto depressi, arenosi e sterili. Perchè piove di più nell'emisfero Nord che nell'emisfero Sud con una differenza quasi del triplo tra i due? Perchè a Nord abbiamo i continenti che sono i condensatori, mentre a Sud abbiamo i mari che funzionano come caldaie d'evaporazione. Perchè in America esistono delle nevi perpetue anche sotto la zona torrida? Perchè vi sono dei rilievi così alti che il freddo portato dall'altitudine vince il caldo corrispondente alla latitudine.

Tutto questo è puramente accidentale; come è tutto assolutamente accidentale ciò che si lega alla configuraziono della superficie del globo, la quale fu ed è soggetta a continue variazioni. Non voglio nevi eterne nell'alta Italia, per trasportarle invece nell'Italia meridionale? Basterebbe ch'io potessi abbassare convenientemente le Alpi e rialzare quanto basti la Majella e il Gran Sasso.

Quando dico essere accidentale quanto si lega alla configurazione del globo considerata nella sua attualità, non intendo che lo sia soltanto di diritto, ma an-

(1) Vedi *Corso di Geologia*, Vol. I, cap. II, III.

che di fatto. Che cos'è infatti la storia della terra narrata dalla geologia? Non altro che una serie infinita di trasformazioni della superficie del globo. Terre effimere; effimeri mari; sostituzioni incessanti di superficie inondate e superficie asciutte; continenti inghiottiti dai mari, e mari respinti dai continenti. Impossibile adunque che la climatologia del globo rimanesse costante, come non lo può ora rimanere nemmeno un istante, mentre non passa minuto che non abbia luogo una trasformazione alla superficie del globo. L'attuale climatologia del globo non può dunque più essere la climatologia delle epoche andate, mentre affatto diversa era in allora la distribuzione dei mari e dei continenti; ma dev'essere una *risultante* delle avvenute modificazioni; dev'essere una climatologia speciale, come speciale e non mai verificatasi antecedentemente è l'attuale configurazione del globo terracqueo. Per la stessa ragione la climatologia può e deve variare in avvenire col variare della configurazione dello stesso globo per effetto necessario di tutti gli agenti interni ed esterni: il che vuol dire finalmente, come si è affermato, che l'attuale climatologia è affatto accidentale.

Dimando ora: in che cosa potranno consistere queste modificazioni della climatologia tellurica in dipendenza dalle trasformazioni delle superficie terrestri? I due fattori principali del clima sono il calore e l'umidità. Quando si vuol classificare un clima, si dice specialmente, e quasi unicamente questo; che è caldo o freddo, umido o secco. Cominciando col calore, abbiamo ammesso, per quanto vi ha di positivo nella scienza, che esso si produce in una quantità costante. Dunque nessuna variazione per riguardo alla quantità. Il calore potrà tuttavia variare per rapporto alla sua distribuzione sulla superficie del globo. Ma si badi bene che, variando la distribuzione del calore, non faranno che variare i rapporti climatologici delle diverse parti del globo, divenendo una più fredda, l'altra più calda, e verificandosi piuttosto degli eccessi di alte o di basse temperature che una distribuzione più o meno uguale ed uniforme. Il clima del globo, considerato nella sua universalità, non diverrà nè più caldo nè più freddo; non vi potrà quindi essere un fenomeno universale, come sarebbe, per es., quello dello sviluppo dei ghiacci, il quale attesti una diminuzione od un aumento universale della temperatura. Basterebbe già questo per dimostrare come il progresso e il regresso degli antichi ghiacciai, essendosi verificati nelle debite proporzioni latitudinali ed altitudinali su tutta la superficie del globo, non possono accusare nè una diminuzione nè un aumento universale della temperatura.

L'umidità invece... Attenti! che siamo proprio al punto cardinale della questione. L'umidità è un elemento tutto tellurico, legato affatto alla configurazione della superficie del globo, e che può variare, non soltanto nella distribuzione, cioè nella quantità relativa, ma anche nella quantità assoluta. Sì, certamente; sulla superficie del globo può piovere e nevicare di più o di meno; di più in un'epoca, di meno in un'altra; e può quindi aver luogo uno sviluppo universale maggiore o minore di un fenomeno conseguente, come sarebbero nel caso nostro il limite delle nevi perpetue e l'avanzamento dei ghiacciai.

Per intendere come possa variare la quantità assoluta dell'umidità atmosferica (vapori destinati a concentrarsi) riflettiamo che la quantità del vapore atmosferico non è già in proporzione della quantità d'acqua esistente sulla superficie della terra, ma della estensione che l'acqua stessa occupa su questa superficie; perchè la quantità di vapore che si ottiene da un liquido, a condizioni pari, del resto, è proporzionata alla superficie evaporante. Siccome l'estensione della superficie evaporante sul globo è quanto può dirsi variabile; ne consegue che può variare, e deve aver variato chissà quante volte e in quante maniere, la quantità dei vapori sparsi nell'atmosfera che involge la terra. Chi m'impedisce di credere, per es., che un giorno tutta la terra fosse ricoperta dalle acque? Se parliamo poi della maggiore o minore estensione che può essere data alla superficie delle acque in conseguenza delle oscillazioni del globo, ossia degli abbassamenti e sollevamenti della crosta terrestre, si pensi quanto poco ci vorrebbe perchè l'immensa regione Aralo-Caspiana venisse inondata. Non si può prosciugare uno stagno nè

scavare una peschiera in giardino senza diminuire od accrescere la quantità dei vapori atmosferici. Natura fa ben altro ogni dì, mentre, per es., il rapido prolungamento dei delta non è altro che una continua sottrazione alla superficie evaporante e quindi alla quantità dei vapori atmosferici.

Ma non è nemmen necessario di accrescere o diminuire l'estensione della superficie evaporante perchè si accresca o diminuisca la quantità dei vapori atmosferici. Basta per questo una diversa distribuzione delle terre e dei mari. Se l'evaporazione è proporzionale all'estensione della superficie evaporante, lo è anche alla temperatura del liquido e dell'aria stessa che incombe e si rimuta continuamente alla sua superficie; nè fa bisogno nemmeno di ricordare che sotto la zona torrida l'evaporazione alla superficie del mare dev' essere chissà quante volte maggiore che nelle zone temperate o fredde. Le oscillazioni della crosta terrestre non ebbero forse per effetto il continuo spostarsi e rimutarsi delle terre e dei mari? Supponete che d'un tratto le terre equatoriali si aggruppino intorno ai poli, abbandonando al mare tutta la zona torrida. Quale enorme aumento d'evaporazione non darebbe in questo caso il solo Sahara sostituito dal mare! Supponiamo ora invece che le terre si distendano tutte sotto la zona torrida, cacciando i mari verso i due poli. Avremmo in quelle terre altrettanti Sahara, pronti a versare nell'atmosfera torrenti d'aria infuocata, ma non una stilla di vapore. Sarebbe un mezzo molto semplice per abolire le pioggie. Abbiamo fatto delle ipotesi eccessive, per così chiamarle: ma non è poco il risultato che si otterrebbe per riguardo alla quantità di vapore atmosferico, quando si recassero anche leggieri modificazioni all'attuale modificazione delle terre e dei mari; mentre la differenza nella quantità d'evaporazione sotto le diverse latitudini è veramente sorprendente. Dall'esperienze eseguite dal prof. Hajeck sul lago di Como, risulta che la massima giornaliera della evaporazione è di millim. 1,27 (1). Dal rapporto pubblicato dal Senatore Luigi Torelli sul canale dell'Istmo di Suez risulta che l'evaporazione a Porto Said è di 15 millimetri al giorno. Il lago di Como si trova precisamente sotto il 46° di latitudine Nord, e Porto Said sotto il 30° circa. Dunque la differenza di 16 gradi di latitudine basta a dare alla quantità d'evaporazione la differenza di circa undici volte in più o in meno. S'immagini dunque quale quantità maggiore o minore può esser data da un mare o pezzo di mare solo col trasportarlo un po' più verso l'equatore od un po' più verso i poli (2). Si continua a ragionare in via di ipotesi; ma intanto siamo arrivati a stabilire il principio che — la quantità di vapore atmosferico nelle diverse configurazioni che deve aver preso la superficie del globo nelle diverse epoche geologiche, deve essere stata proporzionata alla maggiore o minore estensione della superficie evaporante, ossia ricoperta dalle acque, ed alla maggiore o minore vicinanza della stessa superficie evaporante all'equatore.

2. Esistenza di un mare Sahariano e sua influenza sulla climatologia nell' epoca glaciale.

Stabilito il principio, veniamo a farne l'applicazione al caso concreto. Qual era la configurazione del globo nell'epoca glaciale? Come erano in allora distri-

(1) Camillo Hajeck, *Ricerche sperimentali sull'evaporazione di un lago.*

(2) Secondo i calcoli dell'ing. Gabriele Cagliani nella sua breve ma interessante Memoria *Il mare interno dell'Algeria* (*Politecnico*, anno XXIII, 18) l'evaporazione media giornaliera del bacino artificiale, destinato ad occupare una porzione del Sahara sarebbe di millimetri 6,80, corrispondente a 6 milioni di metri cubici giornalieri di acqua, essendo la superficie di quel bacino di 880 chilometri quadrati. L'evaporazione media in Italia tra il 37° ed il 47° di latitudine sarebbe di soli millimetri 3,50 al giorno. Un bacino artificiale di 880 chilometri quadrati a cui si potesse dare origine piuttosto in Algeria che in Italia fornirebbe adunque all'atmosfera una quantità di vapore in più o in meno corrispondente a circa 3 milioni di metri cubici d'acqua al giorno. Sarebbero dunque 3 milioni di metri cubici d'acqua di più o di meno che dovrebbero piovere sulla terra.

buiti i mari e i continenti? Abbiamo già veduto come, tra il principio dell'epoca terziaria e quello dell'epoca glaciale o neozoica, i continenti vennero gradatamente acquistando l'attuale loro rilievo (1); sicchè, accordando pure ai periodi seguenti (glaciale e postglaciale) tutta la parte che loro spetta di sollevamenti, di ingrandimenti di terre, ecc., si potrà sempre dire con verità che la distribuzione delle terre e dei mari al principio dell'epoca glaciale era, come lo è adesso; che, tutto sommato, il mondo d'allora (continenti, isole, mari, monti, valli, piani) è ancora su per giù il mondo presente. Pertanto non ci doveva essere nulla di fondamentalmente e nemmeno di considerevolmente diverso da ciò che vediamo in oggi riguardo alla distribuzione sia del calore sia del vapore atmosferico sulla superficie del globo, e quindi alla distribuzione delle pioggie e delle nevi. Ciò risulta del resto da quanto si è riferito circa la distribuzione e il relativo sviluppo degli antichi ghiacciai. Tuttavia la configurazione della superficie terrestre non era proprio quella che è in oggi. In che senso si verifica la differenza? Basta richiamare quanto s'è detto sul mar glaciale a' piedi delle Alpi, sul sollevamento dell'Europa settentrionale e dell'America posteriormente all'epoca glaciale, e una quantità di altri dati ormai acquisiti alla scienza, per poter rispondere che la differenza nella configurazione della superficie del globo tra l'epòca glaciale e l'attuale si verifica specialmente nel senso di una maggiore estensione di superficie evaporante nella prima, e di una minore nella seconda. Nell'epoca glaciale adunque la quantità assoluta di vapore versato nell'atmosfera dovette essere maggiore di quella che vi si versa dai mari attualmente.

Vi ha specialmente uno spazio della superficie terrestre che al principio dell'epoca glaciale si trovava in condizioni diverse anzi opposte alle attuali, e tali precisamente da contribuire allora un'enorme quantità di vapore che all'atmosfera nostra è attualmente negata. Questa porzione della superficie terrestre è il gran deserto del Sahara. Lo vedete? ora è un mare di sabbia; un bracere che versa nell'atmosfera torrenti d'aria infocata. Allora non era così; esso era un mare.

La teoria che piglia per punto di partenza il fatto di un mare Sahariano di poco anteriore all'epoca nostra, quale fu immaginata da Escher della Linth, e da me in seguito completata, generalizzandone l'applicazione nelle mie *Note ad un corso di Geologia* (2), è rimasta dal 1865, data dell'opera, fino ad oggi, si può dire senza dare più un passo quanto all'applicazione generale ch'io ne ho fatta in allora. Si può dire che per compenso è progredita assai per ciò che riguarda le prove, tra le quali occupa certamente il primo posto la scoperta *del mare glaciale al piede delle Alpi*, colla fauna marina dell'epoca glaciale dissepolta dai terreni morenici dell'alta Italia. Quella teoria io la riporto adunque quì colle stesse parole, su per giù, colle quali la esposi in allora, salvo lo svolgerne più ampiamente l'applicazione e le conclusioni in base ai nuovi fatti accennati (3).

Fu adunque l'illustre geologo Arnold Escher della Linth il primo a chiamar l'attenzione dei geologi sugli effetti che poteva aver prodotti un mare che avesse occupato (come occupò infatti) il deserto del Sahara nell'epoca glaciale. Ecco la

(1) Questa tesi fu dimostrata nel *Primo Capitolo* di quest'opera e più ampiamente nel *Corso di Geologia*, Vol. II, Cap. XXVI.

(2) Vol. I, § 619. — Nel *Corso di Geologia* la questione relativa all'esistenza del mare Sahariano fu asserita ma non svolta, perchè era mia intenzione di trattarla *ex professo* in un quarto volume da aggiungersi allo stesso *Corso*, compenetrandola nella questione più fondamentale ed universale dei *climi geologici*.

(3) La teoria esposta dal defunto G. A. Bianconi nella sua Memoria *Il Sahara e gli antichi ghiacciai* (*Mem. Ist. di Bologna*, Ser. II, T. IX, 1870) corrisponde quasi alla lettera a quella che io ho esposta nelle mie *Note ad un corso di Geologia*, anche per riguardo all'averne resa generale l'applicazione che nella mente di Escher, vero creatore della stessa teoria, si arrestava alle Alpi. Non ho altro a notare in proposito se non che il I volume delle mie *Note* (1.ª edizione) comparve nel 1865, cioè cinque anni prima della Memoria del Bianconi, il quale pare che ignorasse allora essermi io occupato di questo argomento.

sua ipotesi, quale fu da lui primitivamente ideata, quindi esposta con molta chiarezza dal suo amico E. Desor in un breve scritto pubblicato sotto il titolo di *Aperçu du phenomène erratique des Alpes*. Dopo aver detto che l'esame del fenomeno erratico sia nelle Alpi, sia altrove, maturò la convinzione, che esso fenomeno fu prodotto da qualche causa che esercitò non già un'azione immediata e violenta ma lenta e graduale, così continua:

« Si comprese che il fenomeno glaciale non era punto, come lo si era supposto dapprima, conseguenza di una catastrofe, ma piuttosto il risultato lento di agenti, la cui influenza si esercitò durante un lungo periodo pieno di vicissitudini. Da questo punto di vista è partito appunto tra gli altri l'amico nostro Escher della Linth, proponendo quella nuova teoria che il pubblico pare disposto ad accogliere favorevolmente.

« Tale teoria ammette un legame assai più intimo che per lo innanzi non fosse supposto, tra il clima d'Europa e le condizioni geografiche delle regioni tropicali nei rapporti specialmente delle distribuzioni delle terre e dei mari. Il sig. Escher, testimonio tante fiate degli effetti che il *Fœhn* o Scirocco (che credesi proveniente dai deserti d'Africa) produce sulle nevi alpine, le quali si struggono sotto il suo alito con meravigliosa rapidità, propose a sè stesso questo quesito: Che avverrebbe se un giorno il Sahara fosse di nuovo sommerso dal mare? Evidentemente ne conseguirebbe un cangiamento considerevole nell'economia climaterica delle nostre montagne. Non solo sarebbe in non lieve proporzione scemata la fusione delle nevi dal dì che il vento del deserto, qualificato dai nostri vecchi coll'appellativo di *mangiatore delle nevi*, cessasse; ma è probabile che, sotto l'influenza del vento marino che gli verrebbe sostituito e che sarebbe necessariamento più umido, le Alpi si caricherebbero annualmente d'una massa nevosa assai più considerevole. Conseguenza inevitabile sarebbe un aumento proporzionale de' ghiacci, tale che saremmo facilmente spettatori d'una nuova invasione de' ghiacciai entro i dominii delle nostre vigne e de' nostri campi.

« Ora le ultime nostre investigazioni entro il Sahara avendoci istrutti dell'età recentissima del deserto ove il mare s'internava ancora durante l'epoca quaternaria, l'opinione, che l'estensione dei ghiacciai alpini si leghi fino ad un certo punto all'esistenza del mare del Sahara e che il suo prosciugamento sia stato, per naturale conseguenza, il segnale della loro ritirata, acquista un grado assai maggiore di probabilità. Risulterà inoltre dalle nostre osservazioni che tale trasformazione avvenne lentamente; che a gradi a gradi al mare sostituissi il deserto, e sarebbesi così colta anche la ragione per cui lento e graduato fu il regresso de' ghiacciai.

« Siccome noi qui non abbiamo ad occuparci che dei fenomeni erratici delle Alpi, potremmo rimanercene paghi, nella soddisfazione d'aver trovato finalmente una spiegazione che risponde così pienamente alle esigenze di tutti i fatti da noi esaminati. La questione però si complica quando si ponga mente al complesso dei fenomeni erratici del globo. È evidente che, se l'estensione dei ghiacci polari del nord d'Europa e dell'America (per non parlare di quelli che lasciarono le loro orme sulla Terra-del-fuoco e in altre regioni dell'emisfero australe) è contemporanea dello sviluppo de' ghiacciai alpini; i cangiamenti succeduti nel deserto non bastano alla soluzione del problema. Gli è d'uopo rintracciare una causa più generale. Ma anche in tale ipotesi il Sahara può aver avuto la sua parte d'influenza, entro certi limiti, nello sviluppo de' fenomeni alpini ».

L'ipotesi qui esposta dal Desor è pure enunciata da Lyell nel suo libro *Sull'antichità dell'uomo*. — Non so perchè non ne abbia citato l'autore.

Ora per ben apprezzarla c'è necessario procurarci tali nozioni circa la costituzione fisica e geologica del Sahara, da cui risulti che l'ipotesi non è affatto gratuita. Le nozioni più necessarie ci sono date dallo stesso Desor che personalmente, in compagnia di Escher, visitò appunto il Sahara nell'anno 1863, allo scopo di rilevare se i fatti corrispondessero all'ipotesi (Desor, *Le Sahara*, Neuchâtel 1864).

Il deserto si presenta sotto tre forme diverse, costituenti tre tipi di deserto:

1.° *Deserto a piattaforma*. È un piano disteso a perdita d'occhio, seminato di ciottoli che ricoprono una crosta di gesso la quale forma un vero orizzonte geologico. È assai arido, ma talora abbastanza fornito di vegetazione.

2.° *Deserto d'erosione*. È un deserto senz'acque. Lo strato di gesso è quasi superficiale. L'acque pluviali, non potendo scavarsi un letto profondo, errano qua e là producendo erosioni enormi. Ma il sale sparsovi con profusione straordinaria, lo rende d'una sterilità assoluta. È in questi deserti salati che si trovano dei laghi salsi in eccesso, che si direbbero avanzi di antichi mari.

3.° *Deserto delle Dune*. Coperto di sabbie semoventi. È il deserto per eccellenza quale fu descritto da mille. Quelle sabbie non sono che il risultato di terreni arenacei, alcuni della creta, alcuni dell'epoca quaternaria, decomposti sul luogo. In alcuni siti si vedono benissimo le sabbie stratificate, protette dalla crosta di gesso.

Le sabbie quaternarie stratificate, il sale sparso in eccesso nel suolo su vasta estensione, i laghi salati che sembrano gli avanzi di antico mare, tutto infine aveva già lasciato l'impressione di un fondo marino disseccato in epoca recente. Si pendeva dubbiosi tra l'epoca terziaria e l'epoca quaternaria. Una piccola conchiglia può bastare a sciogliere una grande questione. Era già nota l'esistenza del *Cardium edule*, specie di conchiglia marina vivente nel Mediterraneo: ma Desor e i suoi compagni lo trovarono sparso di luogo in luogo ben lontano dal lago Melrir a cui si riteneva appartenesse. Occupa sempre la stessa posizione geologica, cioè una sabbia distintamente stratificata al disotto dei gessi superficiali. Gli strati in cui si trova il *Cardium edule* sembrano anche inferiori al lago suddetto, ed indicano un mare assai più vasto, anteriore alla limitazione degli attuali laghi salati. Ecco dunque una conchiglia contemporanea che attesta l'esistenza del mare, ora scomparso, in quelle regioni. Il *Cardium edule* è specie essenzialmente salmastra del Mediterraneo, e non vive al presente ordinariamente che allo sbocco dei fiumi. Una specie di *Buccinum* fu pur trovata col *Cardium*.

Il Sahara dunque, conclude Desor, era un mare interiore; una specie di Baltico ad acque salmastre, scarso di viventi. Se cessa la comunicazione coll'oceano, un golfo si trasforma in lago salato, e la soverchia salsedine vi spegne la vita. Ciò si attesta dal mar Morto, come dal lago Melrir, e da tutti i grandi laghi salati.

Alle prove dirette del recente prosciugamento del mare Sahariano si possono aggiungere quelle che ne assegnerebbero la causa principale al sollevamento postglaciale, il quale coincide, come abbiam visto, col periodo dei terrazzi, ossia del regresso degli antichi ghiacciai. Le condizioni geologiche del deserto da cui il mare fu respinto così da poco, mostrano già per sè che l'Africa settentrionale ha acconsentito al generale sollevamento dell'Europa. Tra i littorali marini emersi e sollevati nelle regioni mediterranee e fuori di esse, va segnalata, come in diretta corrispondenza coll'ipotesi del Mare Sahariano, la cornice di depositi marini, littorali, i quali formano un cordone rilevato sul littorale mediterraneo, e contengono, oltre ad ossami d'animali terrestri, la stessa fauna marina che si trova vivente nel mare confinante. Secondo il signor Pomel, l'esistenza di questa specie di lungo terrazzo marino fu constatata a Tripoli, sulle coste della Tunisia, alla Calle, a Philippeville, Algeri, Cherchell, Tenez, Mostaganem, Oran, Tangeri, Mazagran e fino al Capo Bianco (1).

Non può non intendere il lettore l'influenza stragrande che quel mare del Sahara doveva avere sulla climatologia dell'epoca. Supponiamo un istante che il gran deserto ridiventasse mare; che le onde azzurre dell'Oceano danzassero, dove ora con lenta mossa camminano le dune di sabbia infuocata. Quello che si può chiamare in oggi il più potente bracere del mondo, sarebbe di nuovo convertito in caldaja a vapore; a quel turbine immensurato d'aria secca e cocente che si

(1) Desor, *La Mer Saharienne*. Neuchâtel, 1879.

leva oggi dal deserto, sarebbe sostituito un nembo pari d'aria calda sì, ma estremamente umida e vaporosa. Badate bene che non s'è diminuita nemmeno d'un palmo l'estensione dei mari, ossia della superficie evaporante che abbiamo in oggi: no; quel vapore Sahariano è tutto un di più: e quale di più! e quale di più per conseguenza di piogge, di nevi, di ghiacci!...

La teoria di Escher trovò degli oppositori. Già nel modo in cui è esposta dal Desor si sente il difetto principale che doveva renderla dubbiosa. Mi ricordo che in quel tempo in cui si cominciava a discuterla, ebbi a trovarmi collo stesso sig. Escher, e mentre io mi congratulava seco lui dello sviluppo che accennava a prendere la sua idea del mare Sahariano, egli, modestissimo qual era, mi rispose che ormai l'avea abbandonata. Il motivo di questo era che gli avevan fatto osservare i scirocchi, mangiatori di neve, non venir già dal Sahara, ma dall'America equatoriale, attraverso l'Atlantico. La cosa è verissima, e se non riguarda tutti i venti caldi che vengono a struggere le nevi alpine, riguarda certamente i veri scirocchi, ossia i venti di sud-ovest umidi e caldi, i quali però, piuttosto che a struggere le nevi delle Alpi, valgono ad accrescerle (1). Qualunque però sia la provenienza dei scirocchi, o di quel vento che con parola di significato molto incerto si chiama *foehn* dagli Svizzeri, la teorica di Escher conserva fondamentalmente tutto il suo valore, che io ho cercato di dimostrare, come dissi, fin dal 1865 nelle mie *Note ad un Corso di Geologia.* Io diceva allora, e ripeto adesso, che, se vi ha un difetto nella teorica di Escher, sta in ciò soltanto che è troppo limitata tanto per riguardo alla causa come per riguardo all'effetto che vi sono considerati. Il sig. Escher limitossi da una parte a considerare il supposto mare del Sahara come unica causa producente lo sviluppo degli antichi ghiacciai: limitossi d'altra parte a tener conto soltanto dei ghiacciai alpini, considerandone lo sviluppo nell'epoca glaciale come un fenomeno isolato. Per dir tutto in una parola, egli non badò che ai possibili rapporti tra il mare Sahariano e i ghiacciai alpini, con questo di più che tali rapporti si basavano sopra un supposto, il quale, se non è falso per tutti, lo è certo per la maggior parte dei casi. Lo sviluppo degli antichi ghiacciai non fu semplicemente un fenomeno alpino, ma un fenomeno tellurico, cioè universale e contemporaneo per tutta la terra. Universale doveva essere dunque la causa, come universale l'effetto. Ma è appunto in questo senso che io sostengo fondamentalmente vera l'idea di Escher, a cui mancò soltanto uno sviluppo, una generalizzazione sufficiente. Sì, io credo il mare Sahariano potersi considerare come causa generale a cui corrispose nella sua generalità, se non nella sua totalità, l'effetto dello sviluppo di tutti i ghiacciai del globo. Liberando la teorica di Escher dai termini angusti in cui fu stretta dal proprio autore, si potrebbe considerarla come la definizione di un caso pratico a cui si applica un teorema generale già da noi dimostrato, ed è questo: — Qualunque sia la configurazione della superficie del globo, la sottrazione di una qualunque porzione di superficie irradiante coll'aumento di una porzione qualunque di superficie evaporante, ha per effetto una quantità maggiore di vapori atmosferici, quindi un aumento di concentrazione, che vuol dire aumento nella quantità assoluta di piogge, di nevi o di ghiacci che possono formarsi sulla superficie del globo. — Applicando il teorema al caso pratico, il mare Sahariano (data la configurazione attuale della superficie del globo uguale, con poca differenza, a quella dell'epoca glaciale) è appunto una porzione (ed una porzione enorme) di superficie irradiante sottratta, e di superficie evaporante aggiunta. L'effetto dev'essere una quantità enorme di vapori versati nell'atmosfera, da aggiungersi a quelli che attualmente l'atmosfera stessa riceve, e da ripartirsi da essa, secondo le leggi della circolazione atmosferica e della distribuzione dei vapori in dipendenza dalla relativa distribuzione delle terre e dei mari.

Concludendo adunque io considero il mare Sahariano, esistente nell'epoca

(1) Il lettore troverà l'esposizione dei fatti a cui qui si allude nel mio *Corso di Geologia.* Vol. I, Cap. II e III.

glaciale, come un'altra caldaia di evaporazione aggiunta a quelle che funzionano ancora attualmente, posta nelle condizioni più favorevoli a dare un grande prodotto da aggiungersi a quello che l'atmosfera è ora incaricata di ripartire su tutta la superficie del globo. So ben anch'io che il vapore, di cui un vento s'impossessa scorrendo sopra un mare o sopra un lago qualunque, è ben lungi dall'essere fedelmente distribuito in parti uguali alle terre che aspettano le rugiade e le piogge. So benissimo che una parte, forse la massima, di quel vapore, è ceduta immediatamente al primo rilievo in cui il vento s'imbatte, dopo aver soffiato su quel mare o su quel lago: io terrò anzi molto conto di questo fatto per confermare la teorica esposta, dimostrando con sempre maggiore evidenza l'esistenza del mare Sahariano e per spiegare certe specialità relative all'Italia e ad altri paesi. Non è però meno un fatto che nel sistema della irrigazione del globo tutta l'atmosfera è solidale, e che i singoli venti mantengono sempre una considerevole porzione dei loro vapori da versarsi nella circolazione atmosferica; per cui anche alle terre più lontane dalle caldaie evaporanti rimanga quanto basta ad irrigarle. Sappiamo benissimo, per es., che i venti Alizei sud-ovest, dopo essersi inebriati di vapori attraversando l'Atlantico a sud dell'equatore, si buttano contro le Cordigliere, le quali ne spremono i diluvi che danno alimento a quel mare d'acqua corrente che si chiama Rio delle Amazzoni. Ma sappiamo anche che gli stessi Alizei così spremuti diventano Contro-Alizei, e ripassato, come vento superiore, l'Atlantico a nord dell'equatore, hanno ancora da versare torrenti d'acqua dapprima sulle Alpi e su tutti i rilievi dell'Europa meridionale, poi su quelli dell'Europa settentrionale, e avanzano ancora una quantità di vapore sufficiente a nutrire le annue nevi del polo.

3. Esistenza d'altri mari oltre il Sahariano nell'epoca glaciale.

Il solo mare Sahariano, benchè se ne allarghino i confini, potrebbe però difficilmente ritenersi sufficiente a dare quell'universale ed uniforme sviluppo a tutti i ghiacci del globo, che caratterizza in modo così maraviglioso l'epoca glaciale. Ma appunto ho già detto che la teorica di Escher peccava d'insufficienza per riguardo alla causa. Sarà però salva fondamentalmente, quando al mare Sahariano, al quale andrà pur sempre assegnata la parte principale, s'aggiungano altri mari, altre porzioni di superficie evaporanti, distribuite in guisa da garantire sempre meglio l'universalità ed anche l'uniformità del fenomeno.

Come si è parlato del recente prosciugamento del Sahara, così citaronsi anche altri paesi o porzioni di paesi sollevati, prosciugati posteriormente al gran periodo glaciale. Quei paesi o quelle porzioni di paesi erano adunque inondati, mentre i ghiacciai di tutto il globo raggiungevano quello straordinario sviluppo. Parlammo già nel corso di quest'opera del sollevamento di tutta l'Europa settentrionale, per cui si elevarono parecchie centinaia di metri l'Inghilterra, la Scozia, la Scandinavia, ecc. Uguali sollevamenti si verificarono nelle regioni mediterranee; nè invano avremo detto che sommersa per sì gran parte era nell'epoca glaciale l'Italia, sicchè il mare batteva in breccia i rilievi ora più interni degli Apennini e dell'Alpi. Ciò attestano la penisola al pari delle isole italiane, mentre son noti i recenti sollevamenti della Sicilia e della Sardegna. Una vasta formazione marina interna, segnalata da Murchison e da Verneuil sotto il nome di formazione *aralo-caspiana*, indica un gran mare interno, d'epoca relativamente assai recente, che occupava quella vasta depressione che si estende tra i rilievi del Caucaso e dell'Ural e gli altipiani dell'Asia centrale. Le conchiglie marine fossili di quella formazione appartengono per la maggior parte a specie viventi del Mar Caspio. Infine il Caspio, l'Aral, il Mare d'Azof e parte del Mar Nero non sarebbero che gli avanzi di un antico mare asiatico interno, forse più vasto del Mediterraneo, a cui molto probabilmente si univa. Il suo prosciugamento è fatto relativamente recente, e da riferirsi col massimo grado di probabilità all'epoca glaciale. I fenomeni os-

servati in Europa e in Asia si ripetono nell'America del Nord, i cui littorali erano sopra immense estensioni sommersi nell' epoca glaciale, e subirono poscia dei sollevamenti ancora più considerevoli di quelli che si verificarono per l'Europa. Credo destinate ad assumere una grande importanza nella questione che qui si agita le grandi pianure dell'America del Sud, una volta che siano meglio comprese. Ne sappiamo però già abbastanza per ritenerne molto recente la formazione, e per vedervi in gran parte altrettanti Sahara di recente messi all'asciutto, benchè in condizioni fisiche molto differenti. Il fatto estremamente probabile che le grandi pianure del Sud America fossero coperte dal mare durante l'epoca glaciale diventa un fatto d'immensa portata nella nostra teorica, quando si pensi che di là appunto ci vengono quelle correnti umide e calde le quali sono per l'Italia e per tutta l'Europa le vere apportatrici delle pioggie e delle nevi. Si pensi quanta importanza deva avere un'area qualunque sotto quelle latitudini quando fosse come superficie evaporante o aggiunta o sottratta.

A questo proposito trovo interessante la Memoria pubblicata dall'ing. Emilio Olivieri sul progetto di ferrovia attraverso le Ande del Chilì (1). In questa piccola ma interessante Memoria il dotto autore parla con molta cognizione di causa dello sviluppo degli antichi ghiacciai sulle Ande del Chilì verso il Pacifico; di grandi morene frontali e di laghi di sbarramento morenico che si incontrano nella traversata da S. Rosa nel Chilì a Mendoza nell'Argentina. Degno di molta attenzione mi sembra poi il brano seguente, che amo qui trascrivere nella sua integrità.

« Vi fu adunque in questa regione un'epoca glaciale contemporanea all'Eu-
» ropa e di cui la causa fu probabilmente la stessa. Rapporto a questa causa
» tuttora si sta nel campo dell'ipotesi più o meno gratuite: ma se dovessi dire il
» mio parere, io vorrei escludere e gli inverni solari e gli spostamenti dell'asse
» e tutto ciò che sa di straordinario, cercando invece spiegar la cosa con cause
» comuni. Se è vero, per es., che i deserti del Sahara e dell'Arabia e la maggior
» parte delle grandi pianure alluvionali sono dovute a sollevamenti e a formazioni
» recenti, vuol dire che il loro posto doveva in altra epoca essere occupato dal-
» l'acqua. Ora, la sola regione dei deserti dell'Africa e dell'Asia può contarsi per
» ben 10 milioni di chilometri quadrati; e quando questa regione tropicale era
» coperta dall'acqua, in luogo dei venti secchi e infuocati doveva generare enormi
» quantità di vapori. Qui pure presso le Ande gran parte della Pampa e della
» pianura Cilena e del bacino delle Amazzoni doveva essere coperta dalle acque,
» e perciò l'evaporazione doveva essere anche qui maggiore che attualmente. Se
» dunque a tanta superficie di terra, che riscaldano le correnti d'aria passanti
» sovr'esse, veniamo a sostituire superficie di acqua che assorbono evaporando due
» milioni di calorie all'anno per metro quadrato, ed eleverebbero complessivamente
» 2 bilioni di metri cubi d'acqua; mi pare ragionevole che il clima in tutto il
» globo debba divenire più umido e più freddo (2). Qual meraviglia adunque che
» questa umidità dell'atmosfera dovesse trasformarsi in neve sulle alte cime dei
» monti, che arrestavano e raffreddavano le correnti d'aria? e qual meraviglia,
» se, emergendo a poco a poco dall'acque quelle pianure, il clima si andasse fa-
» cendo più secco e più caldo e i ghiacciai a poco a poco s' impicciolissero e
» scomparissero? »

La conclusione di quanto fu detto fin qui è dunque questa che durante il periodo d'invasione degli antichi ghiacciai era maggiore sulla superficie del globo la porzione evaporante: una quantità assolutamente maggiore di vapori era dunque

(1) *Giornale del Genio Civile.* Roma, 1872.

(2) Rimane inteso col lettore che noi accettiamo le conclusioni del signor Olivieri soltanto per ciò che riguarda la maggiore umidità del clima glaciale, derivando esse in questo senso soltanto, per logica deduzione dai fatti riferiti. L'epoca glaciale, abbiam detto, fu con pari certezza un periodo di umidità e un periodo di caldo. La tesi nella sua integrità è dimostrata nei capitoli precedenti, mentre questo si limita a cercare le cause della maggiore umidità. Quanto alle cause del maggior caldo, se ne fa ricerca nel capitolo seguente.

messa in circolazione per mezzo dell'atmosfera; per cui assolutamente maggiore doveva essere la quantità di vapori che, date condizioni opportune, veniva a concentrarsi: assolutamente maggiore pertanto doveva essere la quantità delle pioggo e delle nevi, quindi più poderose le correnti e più estesi i ghiacciai. Le porzioni della superficie terrestre che fornivano un di più di evaporazione e quindi di concentrazione (deserto del Sahara, piani dell'America equatoriale, ecc.) erano disseminate a diverse distanze, e site principalmente sotto le latitudini più favorevoli all'evaporazione in guisa che, a pari estensione di superficie, il prodotto d'evaporazione e di concentrazione risultasse maggiore e fosse meglio e più universalmente distribuito.

Quello che si riferisce al periodo dei terrazzi, ossia del regresso degli antichi ghiacciai, è presto detto. In conseguenza del sollevamento, avvenuto dopo il primo periodo dell'epoca neozoica, vaste porzioni di mare, quelle nominatamente che si trovavano nelle migliori condizioni per riguardo all'evaporazione (deserto del Sahara, piani dell'America equatoriale, ecc.), si trasformarono in terre asciutte: quindi minore quantità assoluta di vapori in circolazione nell'atmosfera; siccità elativa; dimagramento delle correnti; regresso dei ghiacciai.

XVIII.

SULLE
CONDIZIONI CLIMATOLOGICHE SPECIALI DELL'ITALIA
NELL'EPOCA GLACIALE

1. Il clima terrestre spiegato coll'applicazione della teorica della circolazione atmosferica, secondo il sistema di Maury.

Diciamo ora qualche cosa sulle condizioni speciali in cui doveva trovarsi l'Italia, e vediamo se trovansi in corrispondenza coi fatti già esposti, principalmente con quelli più fondamentali dello sviluppo dei ghiacciai sui versanti italiani delle Alpi, della mitezza del clima terrestre e della straordinaria dolcezza del clima marino.

Parto da un fatto abbastanza noto, ed è quello dell'influenza meteorologica esercitata attualmente dall'Adriatico che si insinua tra l'Appennino e le Alpi. Questo gran braccio di mare occupa un posto distinto tra quelle *caldaje di soccorso* di cui l'immortale Maury ha fatto così bene sentire l'importanza. Queste caldaje di soccorso sono quelle masse di acque (mediterranei e laghi) nell'interno dei continenti, che devono dirsi distribuite dalla natura molto provvidamente all'intento di irrigare più abbondantemente quelle terre alle quali le grandi correnti atmosferiche, che attingono i loro vapori dagli oceani, arrivano già molto impoverite, essendo state emunte dai rilievi già incontrati per via. Le regioni circumpolari sono, per dir così, chiuse entro una cintura di queste caldaje di soccorso, cioè di mediterranei o di laghi, destinati a provvedere di nuovi vapori i venti extra-tropicali già spremuti dai grandi rilievi delle regioni più meridionali dell'antico e del nuovo continente (1). È come caldaja di soccorso che l'Adriatico funziona specialmente per rapporto alle Alpi. Ricorderà il lettore ciò che abbiam detto più sopra, quando abbiamo distinto, da quella parte di vapori destinata ad entrare nel grande sistema di circolazione per essere distribuita su tutta la superficie del globo, quella che le correnti più umide abbandonano immediatamente, conversa in pioggia o neve, sui primi rilievi in cui si imbattono. I venti che soffiano dall'Adriatico verso le Alpi (e sono frequentissimi) sono in genere venti di pioggia. Lo sarebbero già anche prescindendo da quel vasto bacino; mentre sono venti umidi in genere per tutta Europa quelli di sud, sud-est e sud-ovest che derivano dall'Atlantico (2). È naturale però che i venti suddetti arrivino già un po' stremi alle Alpi, incontrando dapprima i rilievi posti ad oc-

(1) Vedi per una più diffusa spiegazione di questi fenomeni il mio *Corso di Geologia*, Vol. I, § 117.
(2) *Ib.* § 90-91.

cidente. Quando poi, come spesso avviene, i venti di nord predominano, l'alta Italia va naturalmente soggetta a lunghe stagioni di siccità, la quale sarebbe ben più lunga e disastrosa se non vi fosse questa grande caldaja di soccorso che è l'Adriatico. La cosa riuscirà evidente per chicchessia, quando si voglia por mente a quel sistema di venti quotidiani, i quali, indicati da noi con diversi nomi si alternano da sud a nord e da nord a sud, cioè dal mare alla terra e dalla terra al mare con una regolarità meravigliosa principalmente nella stagione estiva, e tutte le volte in cui domina il bel tempo. Io ho spiegato nel mio *Corso di Geologia* (1), come questi venti giornalieri, che i Lombardi chiamano *breva* e *tivano*, non rappresentano altro che le cosidette *brezze di terra e di mare*, fenomeno universale che si appoggia alla mutua azione e reazione che esercitano fra loro le terre e i mari immediatamente fra loro dipendenti per l'azione positiva o negativa del calore solare. Durante il giorno la regione delle Alpi (monti e pianure dipendenti) si riscalda. L'aria sovrastante determina una corrente ascendente che attira la *breva* o *brezza* dall'Adriatico, il quale si riscalda in proporzioni assai minori. Quella brezza è naturalmente umida, e porta i suoi vapori verso le Alpi. Durante la notte invece la terra si raffredda rapidamente, e la dilatazione dell'aria, quindi la corrente ascendente si determina preferibilmente sull'Adriatico, che si attira il *tivano* o brezza di terra. Che avviene pertanto? Avviene che, nelle ore pomeridiane e serotine, i vapori, accumulati dalla breva contro le Alpi si raffreddano molto rapidamente: di qui quei temporali con pioggie diluviali i quali, nella lunga stagione estiva, con una regolarità talora sorprendente, muovono dalle Alpi nelle ore pomeridiane, principalmente a sera e nelle prime ore della notte. Il fenomeno è meno rimarcabile durante l'inverno; ma in minori proporzioni ha luogo egualmente, come indicano le nebbie alte e le nubi che si formano così facilmente sulle alture, e rendono così frequente nei paesi più montuosi quel pioviggínío,che sui monti più elevati si converte in nevischio o in neve. La conclusione di tutto questo è che l'Adriatico ha una grande influenza sul regime idrografico delle Alpi, cioè tanto sulle correnti, come sui ghiacciai che le rappresentano nelle regioni più alte. Se l'Adriatico fosse più vasto, non potrebbe mancare un incremento alle nostre correnti e ai nostri ghiacciai.

Ciò che si è detto dell'Adriatico si applichi, allargando il quadro dei fenomeni descritti senza punto alterarne il soggetto, al Mediterraneo. Se il Mediterraneo venisse ad accrescere la sua estensione, ne avrebbero incremento tutte le correnti e tutti i ghiacciai nelle regioni circummediterranee. Non v' ha dubbio che l'Italia che *il mar circonda*, e principalmente la regione delle Alpi, sarebbero in questo senso le più avvantaggiate; ed è questo appunto che avvenne nell'epoca glaciale. Non starò a ripetere come il Mediterraneo, considerandolo pure entro i suoi limiti attuali, coprisse vaste porzioni di quelle terre che egli attualmente recinge. Non starò a ripetere specialmente come tutta la regione delle pianure e degli altipiani dell'alta Italia fosse occupata appunto da quella grande appendice del Mediterraneo che è l'Adriatico: ma si rifletta ben bene a questo fatto che il Mediterraneo, dilatato in tutti i sensi, com'ebbi a dire fin dal 1866 (2), è quel gran mare dell'epoca glaciale, il quale, oltre i mari interni dell'attuale Europa, occupava quasi tutta l'Africa settentrionale, una gran parte delle coste europee, le sponde del mar Nero, e del mare d'Azof, e tutta l'immensa depressione Aralo-Caspiana. Pensi il lettore se tutti i rilievi d'Europa, ma principalmente le Alpi non dovessero ricevere, per l'immediata concentrazione dei vapori portativi dai venti sud, sud-est e sud-ovest, un enorme aumento di piogge e di nevi.

Concentriamo principalmente la nostra attenzione sul fatto che durante l'epoca glaciale esisteva un mare Sahariano, porzione anche questo di quell'immenso Mediterraneo di cui abbiam cercato di dare un'idea, e che poteva veramente definirsi come un oceano interno, a cui facevano sponda i rilievi dell'Africa set-

(1) *Ib.* § 126.

(2) *Note ad un Corso di Geologia*, Vol. I, § 636.

tentrionale e dell'Europa meridionale (l'Atlante unito alla Spagna, i Pirenei, le Alpi, i Balcani, ecc., ad ovest, nord-ovest, nord, nord-est; quelli dell'Asia orientale (Caucaso, Tauro, Libano, Catena Libica, ecc.) a sud e sud-est; i rilievi dell'Africa meridionale e centrale, (catene della Senegambia, del Sudan, ecc.) a sud, sud-ovest; mantenendosi in comunicazione coll'oceano Atlantico ad ovest per la via del Sahara, e coll'Indiano ad est per quella del mar Rosso. Se fosse qui il luogo di esporre un po' ampiamente il sistema della circolazione atmosferica, quale fu ideato e dimostrato da Maury, e da me, credo pel primo in Italia, divulgato dalla catedra ed ampiamente esposto ne' miei due trattati di geologia (1); il lettore vedrebbe da sè tutta l'immensa portata di questo fatto geologico certissimo. Basterà tuttavia spiegare brevemente uno dei punti più importanti del sistema, quello cioè che riguarda i scirocchi, ossia, per meglio precisare, i venti extra-tropicali sud-ovest, i quali sono in ispecial modo incombenzati dell'irrigazione dell'Europa. Chi vuol seguirmi nella seguente dimostrazione farà bene a tenersi sott'occhio il planisfero e a metterci quel tanto che è necessario di attenzione e di pazienza, cioè un po' più di quanto ce n'han messo finora i miei avversarî.

Secondo il sistema di Maury, i venti alizei sud-est, che soffiano nell'Atlantico a sud dell'equatore, trasformandosi dapprima, a nord dello stesso equatore, in contro-alizei sud-ovest, quindi in venti extra-tropicali ugualmente sud-ovest a nord del tropico del Cancro, sono quelli che portano normalmente i vapori all'Europa.

Abbiamo già detto che ci arriverebbero molto stremi, e che è affidato al Mediterraneo l'ufficio di rifornirli di vapori. Nell'epoca glaciale la cosa passava ben altrimenti. Ricordiamo anzitutto il mare descritto nel paragrafo precedente che ricopriva gran parte delle Pampa, e specialmente l'immenso bacino idrografico del Rio delle Amazzoni. I venti alizei sud-est dovevano dunque arrivare alle cime delle Ande forniti di una quantità di vapori assai maggiore di quella che vi recano al presente e, dopo aver dato più largo tributo di piogge e di nevi a quella grande catena, serbarne una quantità maggiore dell'attuale a profitto dell'Europa, verso cui si avviano come contro-alizei sud-ovest, per arrivarvi come venti extra-tropicali sud-ovest. Si badi inoltre che, a nord del tropico del Cancro, quindi sulla via dei venti extra-tropicali sud-ovest, c'è già una vasta porzione del Sahara (tutta la parte littorale mediterranea), la quale, essendo allora inondata, doveva dare a quei venti di proprio, nell'epoca glaciale, una quantità considerevole di vapori. Siccome però tutto il sistema delle correnti atmosferiche oscilla annualmente da nord a sud e da sud a nord, seguendo il cammino annuale del sole; avviene che, dopo l'equinozio d'autunno, quando il sole passa a mezzodì dell'equatore, le calme del Cancro sono pure trasportate gradatamente verso mezzodì, e con esse i venti extra-tropicali sud-ovest. Così questi venti si rendono allora padroni anche di una vasta zona a mezzodì del 30° di latitudine nord, e quindi di una più vasta porzione della superficie dell'Atlantico. È per questa ragione che attualmente predominano i scirocchi nell'inverno nell'Europa meridionale, e che, ad onta della temperatura molto diminuita nell'emisfero boreale, essi scirocchi sud-ovest si mantengono così umidi, così brumosi, e danno ai rilievi europei, alle Alpi singolarmente, sì largo tributo di piogge e di nevi. Senza voler fissare il valore di tali oscillazioni è certo che una vasta porzione del vero Sahara, a mezzodì del 30° di latitudine, si trova attualmente in inverno entro il dominio dei venti extra-tropicali sud-ovest. S'immagini il lettore che cosa avverrebbe se il Sahara fosse mare. Ma lo era appunto nell'epoca glaciale; per cui non v'ha dubbio che quei scirocchi, i quali portano le acque e le nevi all'Europa meridio-

(1) Senza entrare in polemiche, rispondo a quelli che hanno voluto attribuire a sè stessi o ad altri l'apostolato in Italia di una teoria, la quale è poi da loro stessi tutt'altro che ben compresa ed adequatamente apprezzata. La teoria della circolazione atmosferica, secondo il sistema di Maury, fu da me esposta e sostenuta pubblicamente dalla catedra nell'Università di Pavia nel 1862; poi ridotta a trattazione sistematica nel Vol. 1 delle mie *Note da un corso di Geologia nel* 1865, e ampiamente e con nuove applicazioni alla fisica terrestre ed alla geologia nel *Corso di Geologia*, Vol. I. 1871.

nale, e nominatamente alle Alpi, dovevano essere, durante l'epoca glaciale, più umidi, e ciò specialmente d'inverno, cioè (si badi bene a questo punto) nella stagione più propizia alla formazione delle nevi e dei ghiacci nell' emisfero boreale.

C'è di più: i scirocchi dovevano essere più frequenti, quasi, oso dire, costanti nell'epoca glaciale, e portare alle Alpi ed all'Europa un tributo di pioggia e di neve tanto frequente, come attualmente nelle regioni più piovose e nevose del globo. Perchè ciò?

Richiamo un altro punto importantissimo del sistema di Maury, ed è quello che riguarda la formazione dei venti di stagione, detti *monsoni*, che soffiano periodicamente in certe epoche dell'anno sulle coste dei continenti. I monsoni, come li definisce benissimo Maury, non son altro che gli alizei, i quali seguono la loro via normale durante una stagione, soffiando regolarmente verso l'equatore, ma poi in altra stagione *sono rovesciati*, cioè condotti per via opposta, soffiando verso l'interno dei continenti. Tale rovesciamento è dovuto all'influenza dei continenti stessi, per effetto del calore solare che in determinata stagione (s'intende nella stagione estiva) maggiormente li riscalda, determinando una corrente ascendente d'aria calda che richiama l'aria da tutte le regioni circostanti, impedendo agli alizei, fino a certa distanza dalle coste, di proseguire il loro cammino verso l'equatore.

Per stare unicamente a ciò che più davvicino ci riguarda, in rapporto colle regioni continentali ad est del Nord-Atlantico (Europa ed Africa occidentale) non vi sarebbero che tre venti normali, i quali dovrebbero rimanere costanti, se non fossero disturbati dalla influenza suddetta. Questi tre venti sono: 1.º Gli alizei sud-est nell'Atlantico che bagna le coste occidentali dell'Africa a sud dell'equatore; 2.º gli alizei nord-est nell'Atlantico che bagna le coste occidentali dell'Africa a nord dell'equatore; 3.º i venti extra-tropicali sud-est nell' Atlantico che bagna le coste occidentali dell'Europa, in corrispondenza col Mediterraneo e colle regioni mediterranee. L'azione del sole sul deserto del Sahara ha la virtù di disturbare profondamente tutto questo sistema. Quando il sole infuoca quelle immense pianure di sabbia, una enorme colonna d'aria ascendente si determina come sopra i carboni di uno smisurato braciere. L'aria circostante è chiamata a riempire il vuoto che si forma da quell' immenso camino. Gli alizei dell'Atlantico sentono questo richiamo fino a distanza di centinaja di miglia dalle coste africane; ubbediscono quindi e si rovesciano, soffiando verso l'interno del continente, colla violenza talora della tempesta.

Rifletta ora il lettore che l'azione inspiratrice della colonna ascendente sulle sabbie africane, come si manifesta evidentemente sulle coste occidentali dell'Africa per mezzo dei monsoni estivi, deve necessariamente farsi sentire tutto in giro al deserto, e chiamarvi l'aria da tutte le parti, come farebbe un camino ardente nel centro di un appartamento. L'aria deve quindi accorrervi anche dalla parte di nord e nord-est, dove il braciere africano è circondato dal Mediterraneo e dalle regioni circummediterranee d'Asia e d'Europa. Per quanto le regioni continentali sieno soggette a mille generi di perturbazioni atmosferiche, vi sarà pur sempre più facilmente, a determinate stagioni, un afflusso d'aria verso l'interno dell'Africa; vi saranno cioè dei venti nord-ovest, nord e nord-est, rappresentanti un sistema di perturbazioni dei venti normali (extra-tropicali e polari) che soffiano a nord del tropico del Cancro. Venendo al caso pratico, è mia convinzione espressa da molto tempo in pubbliche conferenze, che i nostri venti di nord o di tramontana freddi o freschi, asciutti e sereni, appartengono alla famiglia dei monsoni, e non affermano altro che il richiamo verso l'interno del continente africano delle correnti fredde ed asciutte, le quali (sempre secondo il sistema di Maury) andrebbero per altra via dalle regioni polari e circumpolari all'equatore, e sono invece attirate verso l'interno dell'Africa. Per eseguire questa evoluzione devono necessariamente passare sulle regioni meridionali d'Europa, nominatamente sull'Alpi, in sostituzione dei scirocchi, o venti marini, o venti di sud, che vi dovrebbero sempre normalmente soffiare.

Quale effetto avrebbe ora la conversione del Sahara in mare per rapporto alla distribuzione del vapore e dei calori atmosferici? Tolto il braciere, sarebbe tolta o di molto attenuata la causa delle notate deviazioni dei venti normali; sarebbero, come ha detto in una sua Memoria il Bianconi (1), soppressi i monsoni. Il compianto geologo però non considerava che i veri monsoni, quelli cioè delle coste occidentali dell'Africa, i quali non c'entrano che indirettamente nella questione. I venti che rimarrebbero soppressi in immediato rapporto coll'Europa meridionale sarebbero precisamente i venti di nord, freddi ed asciutti. Vediamone le conseguenze.

1.° I venti extra-tropicali sud-ovest, venti caldi ed umidi diverrebbero costanti o almeno più regolari.

2.° Essendo questi venti umidi, una maggior quantità di vapori andrebbe a condensarsi sui rilievi meridionali d'Europa, nominatamente sulle Alpi, ottenendosi lo scopo che abbiamo detto, di dar maggiore lavoro ai condensatori, senza bisogno di maggior freddo, e di averne per conseguenza in copia maggiore acqua e correnti, nevi e ghiacciai.

3.° I suddetti venti caldi ed umidi verrebbero costantemente, o per lo meno più di frequente sostituiti ai venti di nord, venti asciutti e freddi; quindi un clima più dolce e più costante; quanto di meglio insomma per facilitare lo sviluppo della vegetazione (2).

Vedesi se non siamo riusciti senza nessun sforzo, per semplice logica illazione, a dar ragione di quei fenomeni di cui lo studio dei terreni glaciali ci ha informati, e che si presentavano come altrettanti problemi in contraddizione coll'esperienza e colle leggi più ammesse della natura? Nell'epoca glaciale dominavano in Europa, nominatamente sulle Alpi, venti più caldi e più umidi: necessaria conseguenza un clima più caldo e più piovoso e nevoso. Ciò che sembrava un paradosso, non è che la conseguenza naturale e necessaria delle condizioni fisiche dell'epoca. In ultima analisi l'Europa meridionale, e più specialmente i versanti italiani delle Alpi, si trovarono nell' epoca glaciale in quelle condizioni in cui si trova attualmente la Patagonia occidentale. Dovevano dunque presentare gli stessi fenomeni climatologici. Abbiamo vista la Patagonia, e tutto il littorale (principalmente a partire da 40° di latitudine sud, cioè da Valdivia, dove si suol dire che piove tredici mesi all'anno, fino allo stretto di Magellano) essere una regione di pioggie torrenziali quasi incessanti. Il sistema di Maury ce ne dà una ragione semplice ed evidentissima. La Patagonia occidentale è sotto il dominio costante dei venti extra-tropicali nord-est umidi e caldi, che sono i corrispondenti nell'emisfero australe ai nostri venti extra-tropicali sud-ovest nell'emisfero boreale (3). Mentre però l'Europa, unita al grande sistema continentale, è soggetta a mille perturbazioni meteoriche, quella coda del continente americano, che si può definire come la terra più isolata del mondo, così sola, così smilza in mezzo ai due maggiori oceani, non può subire nessuno di quei tanti disturbi attribuibili, come si è detto, specialmente all' azione dei raggi solari sulla terra. Le leggi fondamentali della circolazione atmosferica vi saranno dunque rispettate e vi si rileveranno nel fatto assai meglio che altrove.

Queste leggi portano, secondo il sistema di Maury, che i venti alizei nord-est, i quali soffiano nell'oceano Pacifico a nord dell'equatore, arrivati a questo carichi di vapore ascendono per convertirsi in venti superiori o contro-alizei nord-est e discender quindi a sud delle catene del tropico del Capricorno come venti inferiori extra-tropicali nord-est. È così che si buttano costantemente sulla Cordigliera patagonica, scaricandovi costantemente in pioggie e nevi i loro vapori. Nell'epoca glaciale i venti extra-tropicali dell'emisfero boreale, ossia i scirocchi di sud-ovest,

(1) *Il mar Mediterraneo e l'epoca glaciale*, Bologna 1871.

(2) Sa per propria esperienza il lettore quanto i scirocchi invernali (venti normali di sud-ovest) siano caldi e fin soffocanti, talchè avviene talvolta che il termometro nell'alta Lombardia si alzi in meno d'un'ora da 0° a 13° Reaumur.

(3) Vedi *Corso di Geologia*, Vol. I, § 97.

ugualmente umidi e caldi, soffiavano, non così imperturbati di certo come i venti della Patagonia, ma assai meno perturbati di quello che sono attualmente; e per ciò si comportavano in modo assai più uguale che in presente ai loro omonimi di quella lontanissima terra, versando in quantità maggiore e con maggiore costanza in piogge e nevi conversi i loro vapori sui vicini rilievi d'Europa e specialmente sulle Alpi. Quali effetti, per conchiudere, produceva adunque nell'epoca glaciale il predominio e la maggior costanza dei venti sud-ovest?

1.° Clima più costantemente umido, e quindi piogge e nevi quasi continue. Per conseguenza

2.° Abbassamento dei limiti delle nevi perpetue.

3.° Sviluppo dei ghiacciai e loro discesa fino al mare, e ad onta di tutto questo (1)

4.° Clima mite e molto più uniforme dell'attuale.

Dicendo che tutti questi effetti erano prodotti, benchè al certo più limitatamente, dal predominio dei venti sud-ovest sulle Alpi nell'epoca glaciale altro non si afferma che ciò che risulta dai fatti geologici accertati in quest'epoca. Il fatto poi che il clima dell'epoca glaciale, essendo più piovoso e nevoso di quello dell'epoca attuale, doveva essere anche meno freddo, anzi, sto per dire, caldo; questo fatto, così contrastato o rifiutato come problematico, paradossale, assurdo, non si accorda esso perfettamente non solo colla scienza, ma anche colla più volgare esperienza? Non trova forse ogni giorno mille bocche inconsapevoli che l'affermano e mille orecchi che inconsapevolmente vi acconsentono? Ditemi di grazia: quali sono i giorni più freddi d'inverno? i sereni o i piovosi? E gli anni più freddi quali sono? i secchi o gli umidi? Tutti sanno che la neve d'inverno ha per precursore il caldo; il tempo molle, come si dice. E quando si è stanchi del tempo piovoso, si aspetta il freddo, come indizio sicuro del bel tempo. Sono cose che sentiamo ogni giorno. — Che tempo molle! si vede che vuol piovere! bisogna aspettarsi qualche buona nevata — Questo tempaccio non ha idea di cessare; fa troppo caldo. — Finchè non farà freddo, è vano sperare; non avremo il bel tempo. — Una bella mattina d'inverno, dopo lungo piovere e nevicare (parlo a quelli che vivono nelle Alpi o al piede di esse) vi destate. Il cielo è d'un purissimo azzurro; il sole risplende in tutta la sua lucidezza; ma la brina ricopre di folti pizzi le piante; i vetri della vostra camera sono tutti istoriati ad arabeschi; la superficie dello stagno è ricoperta di una crosta di ghiaccio; il tempo è bello che è un desio a vederlo; ma fa un freddo indiavolato. Fate l'applicazione di tutto questo all'epoca glaciale; se essa fu più dell'attuale piovosa e nevosa, dovette essere anche più molle, più calda.

Quanto ai geologi vorrei pregarli a dare qualche peso all'analogia, la quale se non è mai argomento di certezza, quasi lo diviene nelle scienze naturali, per quella regolarità, uniformità invariabile e lenta gradazione che formano altrettante caratteristiche dei procedimenti della natura. Dal clima torrido e uniforme che caratterizza le epoche più antiche del globo, si passa gradatamente al clima freddo e sopratutto stranamente discorde che si nota nell'epoca attuale. La cosa riesce in modo singolare evidente se limitiamo la nostra attenzione alle epoche più recenti. Dall'eocene all'epoca attuale, come si verifica il grande sviluppo dei

(1) Anche prescindendo dalle nevi, un clima umido è estremamente favorevole allo sviluppo dei ghiacciai. Mi piace di citare a proposito il seguente brano:

« Non seulement les vents se chargent de vapeurs dans les contrées chaudes et vont se resoudre » en neige sur les cirques élevés, mais les glaciers eux mêmes sont d'immenses refrigérants. Ils ne » dessèchent point l'air qui, à leur contact, demeure toujours saturée d'eau; ils peuvent même aban- » donner de l'humidité sous l'influence d'un vent sec qui les balaye; mais le plus souvent ils retien- » nent la vapeur invisible abondamment répandue dans l'air chaude qui se refroidit en les baignant. » Comme les carafes frappées sur nos tables, ils se couvrent de buée; et qu'on ne croie pas qu'il s'a- » gisse ici d'un effet de minime importance. D'apres les délicates experiences de MM. Dufour et Forel, » de l'Académie de Lausanne, le glacier du Rhône condense par heure environ 150 métres cubes sur » chaque kilométre carré, ce qui correspond au septième du débit du fleuve à Genéve. Combien gigan- » tesque devait étre cette action sur les vastes champs de neige des temps quaternaires! (Alexis » Delaire, *Genève et le Mont Blanc*, Paris 1876, pag. 56) ».

nostri continenti; così, come un effetto corrispondente alla sua causa, si verifica il graduale abbassamento della temperatura nelle zone temperate e fredde, o meglio il graduale determinarsi di queste zone, cioè il graduale differenziarsi delle linee isotermiche tra l'equatore e i poli, e per dir tutto e meglio in una solo parola, la graduale localizzazione dei climi. L'epoca glaciale, segnando un periodo medio tra i terziarii e il periodo attuale, doveva avere una media di temperatura e di conformità climatologica, sicchè gl'inverni, per parlare soltanto della stagione che più ci interessa, non fossero nè così caldi come nell'epoca terziaria, nè così freddi come nell'epoca attuale. È ciò che i fatti hanno dimostrato in corrispondenza colle leggi più stabilite della geografia fisica.

2. Il clima marino spiegato colla teorica della circolazione marina secondo il sistema di Maury.

Fin qui tuttavia non si è avuto riguardo che al clima terrestre, mentre è un fatto meritevole di osservazione quello che abbiamo dimostrato verificarsi durante l'epoca glaciale: la sensibile differenza cioè e quasi uno sbalzo, tra il clima terrestre e il marino dell'Alta Italia (1). Se il clima terrestre era più mite dell'attuale, il marino era addirittura caldo e quasi subtropicale. È certo che la temperatura dell'aria, allora più mite, doveva avere un' influenza su quella del mare. Ma la fisica terrestre ci accerta che l'influenza dell'atmosfera sulla temperatura del mare è, relativamente parlando, minima. Basti per tutte le prove il fatto, che nei mari polari, con una temperatura atmosferica di 30° a 50° sotto zero, quella del mare si mantiene sempre, anche di più gradi, sopra zero. Dal complesso delle osservazioni credo si potrebbe stabilire per la fisica terrestre, che la temperatura dei mari è, con qualche piccola restrizione, indipendente da quella delle terre, mentre invertendo i termini si potrebbe stabilire il contrario.

Ora, nelle condizioni fissate all' Italia nell'epoca glaciale, quale ragione potrebbe assegnarsi a quegli straordinari tepori di un mare che si spingeva fino al piede delle Alpi? La fisica terrestre c'insegna che, prescindendo dall'azione immediata del sole sulle acque che varia di forza secondo le diverse latitudini, la temperatura dei mari è determinata dalle correnti marine. La circolazione marina si può anzi ritenere quasi come unico fattore dei climi marini; essendochè l' azione diretta del sole si limiti agli strati superficiali, come agli strati superficiali si limita l'azione refrigerante dell'atmosfera, dove l'atmosfera stessa è più fredda delle acque marine. Ma è appunto quest'acqua che, secondo le diverse latitudini riscaldandosi, per legge idrostatica, si riversa, scorre, si abbassa, sale, si rimuta in tutti i versi dall'equatore ai poli e dai poli all'equatore, dal fondo dell'oceano alla sua superficie e dalla superficie al fondo, formando un andirivieni, un intreccio di correnti calde e fredde, superiori e inferiori, ascendenti e discendenti, per cui tutto l'oceano si muove, si sconvolge, si rimuta senza posa, allo scopo, non unico, ma principalissimo, di un'adeguata distribuzione della temperatura in seno alle acque. Si può dunque stabilire il principio che un mare (intendendosi specialmente mari interni) relativamente alla propria latitudine, sarà caldo, quando vi affluiscono correnti calde, e freddo quando vi affluiscono correnti fredde.

Noi sappiamo, per esempio, che i mari, i quali bagnano le coste occidentali d'Europa dove affluisce il caldissimo *Gulf-Stream*, sono molto più caldi di quelli che sotto le stesse latitudini bagnano le coste degli Stati Uniti, dove affluisce la fredda corrente del polo. Perciò se il mar glaciale al piede delle Alpi era caldo, più caldo che non sia attualmente l'Adriatico di cui detto mare non era che il prolungamento a nord, bisogna dire che vi affluissero delle correnti calde, più calde di quelle che attualmente percorrono l' Adriatico, e quindi lo stesso Mediterraneo di cui l'Adriatico non è che un' appendice. Così era appunto nell' epoca glaciale.

(1) Vedi sopra il § a pag. 312.

Non so se vi sia fatto più accertato di questo che, al tempo in cui vivevano in Europa gli elefanti, i rinoceronti, le jene, le tigri, cioè nell'epoca glaciale ed anche più tardi, il Marocco era unito alla Spagna. Nella geografia dell' epoca glaciale bisogna dunque sopprimere lo stretto di Gibilterra, cioè l' unica via attuale di comunicazione tra il Mediterraneo e l'Atlantico, e quindi l'unico canale pel quale possono derivare da questo a quello le acque riscaldate dal sole dei tropici. Sappiamo infatti che le acque dell'Atlantico entrano, come corrente superiore fortissima, per lo stretto di Gibilterra, per riparare alla perdita d'acqua che al Mediterraneo fa subire l'interna evaporazione. Questa infatti supera di tre volte la concentrazione, cioè l'afflusso delle acque pluviali o fluviali entro il bacino di quel gran mare interno. L'eccesso dei sali prodotti da tale evaporazione è poi scaricato per via dello stesso stretto di Gibilterra, mediante una corrente inferiore assai densa, di cui non è meno sancita l'esistenza (1). Mentre però la geografia glaciale chiude lo stretto di Gibilterra, apre al Mediterraneo non una, ma più vie di comunicazione, non solo coll'Atlantico, ma anche coll'Oceano Indiano.

Benchè ci manchino ancora notizie particolareggiate sul prolungamento del Sahara verso le coste dell'Atlantico, le carte più recenti ci assicurano che il *gran deserto*, senza cambiare la sua natura di piano sabbioso, senza offrire rilievi od altri accidenti orografici molto considerevoli, si avanza, sempre ugualmente nudo e formidabile, fino all'Atlantico di cui forma la spiaggia tra il 28° e il 16° di latitudine nord. Il gran deserto è sempre evidentemente fin là il letto abbandonato del gran mare Sahariano. Chiuso pertanto lo stretto di Gibilterra e depresso il Sahara al suo livello dell'epoca glaciale, cioè convertito in mare; il Mediterraneo, di cui lo stesso mare Sahariano faceva parte, doveva trovarsi in libera comunicazione coll'Atlantico per una larga apertura tra i rilievi dell'Atlante e quelli della Senegambia. L'oceano Atlantico poteva adunque riversarsi in quel gran mare interno tra le Canarie e le isole del Capo Verde, per una foce che misurava su per giù in larghezza 12 gradi geografici, cioè oltre a 1300 chilometri. Di là le acque calde dell' Atlantico, pel largo sentiero dell'attuale Sahara, mantenendo sempre a un dipresso l'indicata larghezza della foce, si conducevano per mezzo di enorme *Manica* al Mediterraneo propriamente detto tra il golfo della Sirte e l'Egitto. Ommettendosi pure pel momento di indagare se l'evaporazione del mare interno superasse la concentrazione o ne fosse superata, e lasciando che ciascuno fissi a suo talento le condizioni di equilibrio idrostatico tra l'Oceano e il mare interno; questo equilibrio doveva pur sempre mantenersi mediante lo scambio delle acque esterne coll'interne e viceversa. L'oceano Atlantico doveva per conseguenza versare nel mare interno, sotto forma di corrente marina, una enorme quantità delle sue acque riscaldate e condensate dalla vampa dei tropici (2).

Una seconda via di comunicazione tra l' Atlantico e il Mediterraneo dell' epoca glaciale, non meno dimostrata della prima, era aperta tra la Spagna e la Francia in corrispondenza col golfo di Guascogna. È noto che a' piedi de' Pirenei, dove guardano la Francia, esiste una depressione così profonda, che si è potuto stabilire la navigazione tra il Mediterraneo e l' Oceano. Le navi rimontano da Cette, pel *Canal du midi*, e discendono quindi per la Garonna fino all'Oceano, mettendo così in comunicazione il golfo di Lione con quello di Guascogna. La cosa s'intende ben presto quando si sappia che il punto più rilevato tra i due mari, con una distanza tra loro di 360 chilometri, è di 189 metri soltanto. I molti studî comparativi sulle faune fossili riferibili ai due mari hanno dimostrato che, a partire dai terreni terziari più recenti fino all'epoca in cui era già in pieno sviluppo la fauna vivente, essi due mari erano in libera comunicazione fra loro. Per quanto ci sia divergenza d' opinioni circa la determinazione

(1) *Corso di Geologia*, Vol. I, § 306-309.

(2) Chi desidera la dimostrazione di questa tesi, può trovarla nel mio *Corso di Geologia* (Vol. I, cap. IX) e svolta assai più amplamente nell' opera: *La purezza del mare e dell'atmosfera fin dai primordi del mondo animato.* (Milano 1875, conferenza VIII).

stratigrafica dei terreni componenti quel rilievo, risulta però sempre che essi possono distribuirsi con certezza tra il miocene e quel pliocene intermediterraneo, che per noi comprende anche l'epoca glaciale. A tutte le difficoltà rispondono in ogni caso la paleontologia e la zoologia. Lasciando infatti da parte ogni altro argomento, a dimostrare che il Mediterraneo e il golfo di Guascogna rimasero in comunicazione tra loro fino ad epoca recentissima, e certamente durante l'epoca glaciale, basta il fatto che il Mediterraneo e il golfo suddetto contengono tal numero di identiche specie d'animali, che si può dire senz'altro essere abitati dalla stessa fauna. Vi sono, p. es., 13 specie di pesci i quali non vivono altrove che nel Mediterraneo e nel golfo di Guascogna. Su 356 specie di molluschi, 277 sono comuni al Mediterraneo e ai mari britannici. Infine nel golfo di Guascogna c'è l'assoluto predominio di specie mediterranee talmente, che, su 27 specie di esso golfo, si calcola che 22 sono mediterranee. Contro il supposto, per cento altre ragioni inammissibile, che la fauna del Mediterraneo abbia potuto andare a stabilirsi nel golfo di Guascogna o viceversa, per una lunga migrazione attraverso lo stretto di Gibilterra, basterà riflettere che le specie comuni al Mediterraneo ed al golfo si reclutano anche tra gli animali più sedentari, o fissi, come per es. tra le serpule e i coralli. Bisogna dunque ammettere senz'altro che, quando già si svolgeva nel Mediterraneo la fauna che si dice vivente od attuale nel senso più stretto, cioè fino ad un'epoca posteriore allo svolgimento degli antichi ghiacciai, il Mediterraneo e l'Atlantico si mantennero, come dissi, in libera comunicazione fra loro tra i due golfi di Lione e di Guascogna. A nessuno oggi verrebbe in mente nemmeno di discutere l'opinione del Bianconi il quale, mentre raccoglie diligentemente i fatti citati, attribuisce la comunicazione tra i due mari ad una maggiore altezza del livello del Mediterraneo in confronto di quello dell'Atlantico, altezza maggiore che dovrebbe raggiungere almeno i 200 metri, sicchè tra l'antico Mediterraneo e l'Atlantico non ci sarebbe stato altro genere di comunicazione fuor di quella che hanno attualmente col mare tutti i laghi che possiedono un emissario. L'emissario supposto avrebbe avuto una lunghezza di 360 chilometri (1) ed in queste condizioni il Mediterraneo avrebbe dovuto convertirsi senz'altro in lago d'acqua dolce.

Si rifletta ora essere appunto nel golfo di Guascogna che corre attualmente, per dir così, ad ingolfarsi il *Gulf-Stream*, per ritorcersi verso sud, dopo aver favorito de' suoi perenni tepori l'Inghilterra e la Spagna. Necessariamente quella corrente doveva penetrare durante l'epoca glaciale, per la via descritta, nel Mediterraneo, tributaria di altre acque calde, in quantità almeno sufficiente per compensare quelle che gli erano negate dalla chiusura dello stretto di Gibilterra.

C'era però anche una terza via, la quale metteva, come già accennammo, il Mediterraneo in comunicazione, non più coll'Atlantico, ma coll'oceano Indiano, per l'intermezzo del Mar Rosso. Non c'è alcuno de' miei lettori che ignori altro non essere l'istmo di Suez che un braccio di mare, ossia uno stretto, prosciugato in epoca più recente di quella del prosciugamento del Sahara e dell'istmo tra il Mediterraneo e il golfo di Guascogna. Il canale di Suez non ha fatto che ripristinare, benchè molto limitatamente, il connubio dei due mari. L'acqua che il Mar Rosso tributava al Mediterraneo, per la legge accennata dello scambio necessario di acque tra due mari comunicanti, era certamente più calda di quella che il Mediterraneo restituiva al Mar Rosso.

Risulta infine che il Mediterraneo, e per conseguenza l'Adriatico il quale si protendeva fino alle Alpi, ricevevano nell'epoca glaciale una quantità di acque calde immensamente maggiore di quella che ricevano attualmente. L'essere stato il mar glaciale a' piedi delle Alpi, non più freddo, ma più caldo dell'attuale Adriatico, l'aver esso goduto di un clima veramente mediterraneo e quasi subtropicale, non è che una necessaria conseguenza dei fatti meglio accertati.

Ma qual'era la quantità delle acque calde che dagli oceani tropicali entra-

(1) Bianconi, *Di un'antica comunicazione*, ecc.

vano realmente nell'antico Mediterraneo? Quale sviluppo, quale direzione avevano le correnti calde o fredde destinate a mantenervi lo scambio e l'equilibrio? L'evaporazione superava essa, come in oggi, la concentrazione nell'interno del gran bacino o ne era superata? I ghiacciai, che mettevano capo in mare, non dovevano essi portare un raffreddamento capace di attenuare e forse di elidere l'azione delle correnti calde? — Queste e cento altre questioni potrebbero sollevarsi: ma ormai mi credo in diritto di lasciare a' miei amici ed a' miei avversari la briga di sollevarle, e svolgerle. Ciò che asserii, credo anche d'aver dimostrato: sarà un vantaggio di più quello d'aver aperto un campo a nuove indagini non immeritevoli di occupare l'ingegno de' miei colleghi. Perchè tuttavia quelle domande, a cui io non m'accingo a rispondere per ora, non lascino indeciso il lettore se debba accettare o respingere le mie conclusioni, porterò qui un parallelo il quale basterà credo a tranquillarlo, persuadendolo che, se le accennate questioni ed altre consimili possono impegnare i geologi in nuove ricerche, non valgono però a rendere dubbiose nè punto nè poco quelle conclusioni a cui mi pare di essermi lasciato condurre soltanto dalla logica più rigorosa dei fatti. Il parallelo che io stabilisco è quello tra il mare glaciale Artico, quale si presenta attualmente, e il mare che si stendeva fino ai piedi delle Alpi nell'epoca glaciale.

Abbiamo già accennato all'esistenza di un libero mare al polo artico. Quale ne è la ragione? Rispondo con alcuni brani del mio *Corso di Geologia* (1). « Una gran corrente calda superiore si svolge dall'equatore verso i poli: è il Gulf-Stream. Questa è compensata da una corrente fredda, che viene dal polo, a cui serve di letto la baja di Baffin. Come la corrente del golfo si può definire un eflusso del mare equatoriale verso nord; così la corrente della baja di Baffin si può definire un eflusso del mare glaciale verso sud. I viaggiatori alle regioni artiche ci riportarono, come tutto il mare glaciale, coi ghiacci galleggianti e colla ghiaccia che lo incrosta, si move verso sud. Se le due correnti descritte, per le quali si compie il circolo dell'Atlantico, pur rimanendo superiori entrambe, devono sostituirsi; se deve cioè ciascuna riempire il vuoto che lascia l'altra; è necessario che l'una e l'altra finiscano col diventare inferiori. » Il fatto è accertato. La corrente fredda si getta, può dirsi visibilmente, sotto la calda verso i paraggi del banco di Terra Nuova. La densità prodotta dalla sua fredda temperatura in confronto di quella del Gulf-Stream, dà ragione del fenomeno. Non così è visibile il gettarsi della corrente calda sotto la fredda. A prima vista si direbbe anzi impossibile; sembrando che l'acqua calda debba, galleggiando sulla fredda, continuare superficialmente fino al polo il suo cammino. Il fatto è invece che la baja di Baffin è, quanto è largo il gran canale, percorsa dalla corrente fredda, che si mantiene superiore fino all'incontro del Gulf-Stream, il quale non può arrivare al polo che scorrendo sotto di essa, come corrente inferiore. Del resto l'esistenza della *corrente inferiore* è accertata dalle montagne di ghiaccio galleggianti, le quali, in luogo di discendere dal polo verso l'equatore, come fanno tutte in generale, trascinate come sono dalla corrente fredda superiore, rimontano la corrente stessa, camminando verso il polo. Il fenomeno, che fu accertato e descritto dai capitani Griffin, Duncan, ecc., si spiega affatto naturalmente, quando si pensa che le montagne di ghiaccio galleggianti sono talora così enormi e pesanti, che pescano giù basso fino all'incontro di una corrente inferiore, la quale li trasporta verso il polo (2).

Questa corrente inferiore è indubbiamente calda perchè viene dalla zona tropicale; nè l'acqua fredda che discende dal polo può essere altrimenti rimpiazzata che dalla calda la quale rimonta dall'equatore. Il fatto della temperatura del mare glaciale, che si tiene superiore al punto di congelazione, è già una prova di fatto: un'altra ben più luminosa prova è l'esistenza del libero mare a cui servono di

(1) Questo e i seguenti brani sono tolti dal Vol. I, cap. IX, in cui è descritta la circolazione dell'oceano

(2) Vedi i fatti citati nel Vol. I del *Corso di Geologia*, § 304.

sponda quelle terre di ghiaccio. Il libero mare del polo segna il luogo dove necessariamente l'acqua calda, discesa come corrente inferiore nella gran baja di Baffin, e attraversata per via sotto-marina la cerchia dei ghiacci eterni, torna a galla per rovesciarsi, come corrente superiore, verso l'equatore. Quel mare è relativamente caldissimo. Kane, attraversata sul canale di Kennedy la barriera di ghiaccio, che copriva il mare sopra una lunghezza di 80 a 100 miglia con uno spessore di forse 100 piedi, incontrò oltre l'82° di latitudine il pronosticato libero mare. Dimorò nove mesi sulle sue rive. Mentre l'aria segnava la spaventosa temperatura di 46 centigradi sotto zero, l'acqua segnava sul termometro + 2.°, 26. Le regolari maree attestavano l'ampiezza di quel mare cinto d'eterni ghiacci: le foche scherzavano nell'onde tepide, e gli uccelli acquatici vi si tuffavano a stormi. Così narra Maury (1); ma un passo dell'opera di Kane (art. Explorations) riportato da Hayes, il quale ritrovò pure più tardi il libero mare, dice più precisamente che il libero mare fu scoperto il 20 giugno 1815 da Morton, compagno di Kane, che si spinse fino al Capo Constitution, punto della Groenlandia più avanzato verso Nord, un po' sotto l'81.° Il mare però s'innoltrava verso Nord a perdita d'occhi. La temperatura dell'acqua era di 4° sopra il punto di congelazione. Nessuno si ricordava d'aver mai visto altrove un numero così grande di uccelli. Sulle rive di quel mare si colsero fiori e frutti.

Per non lasciar dubbi circa un punto così capitale della fisica terrestre come l'esistenza della descritta corrente inferiore indubbiamente calda, da cui dipende l'esistenza del libero mare, in chi non potesse capacitarsi che l'acqua calda possa discendere sotto la fredda, riporterò la spiegazione che di questo fenomeno ne offre il Maury, ben inteso che anche nel caso che questa spiegazione non si trovasse soddisfacente, l'esistenza di quella corrente calda inferiore non cesserebbe di essere un fatto. Il Maury adunque attribuisce quella discesa alla densità molto maggiore dell'acqua proveniente dall'equatore, estremamente condensata per effetto dell'evaporazione, e quindi molto più densa e pesante di quella che viene dal polo per la baja di Baffin la quale (fatto sperimentato) è piuttosto salmastra che salsa e per conseguenza molto più leggera. S'intende subito come la differenza di densità possa compensare ed elidere quella differenza di temperatura tra le due acque, per cui la calda tenderebbe a sollevarsi sopra la fredda. È noto d'altronde che la densità dell'acqua presenta di fatto un aumento continuo partendo dall'equatore verso le medie latitudini; e ciò si verifica tanto a nord quanto a sud dell'equatore. Secondo Marié Davy (2) il massimo di densità si verifica pel nord-Atlantico verso il 66.° di latitudine. Ci troviamo dunque precisamente all'imboccatura della baja di Baffin, dove precisamente abbiamo bisogno di questo massimo di densità, perchè l'acqua calda discenda sotto la fredda la quale, come abbiam detto, è piuttosto salmastra che salsa, cioè molto men densa.

Venendo all'applicazione, cioè al secondo termine del parallelo, mi pare che il mar glaciale attuale, *mutatis mutandis*, cioè tenendo calcolo della differenza delle latitudini e delle altre circostanze e lasciando le questioni di più o di meno, riproduca con molta aprossimazione le condizioni dell'antico mare glaciale ai piedi delle Alpi. La corrente del Gulf-Stream che si versa nel mar glaciale attuale trova il suo corrispondente nelle correnti calde che, come dimostrammo, dovevano per più foci riversarsi nel gran mare interno dell'epoca glaciale e spingersi fino entro l'Adriatico. Ho già detto che non m'arrischio a far dei calcoli sui rapporti tra l'evaporazione e la concentrazione delle acque in quell'immenso bacino interno. Quanto si è detto però sulla natura umida e piovosa delle correnti atmosferiche provenienti da sud-ovest verso l'Europa, e circa lo stesso enorme sviluppo dei ghiacciai e delle correnti terrestri, mi inclina a credere che nell'epoca glaciale, all'opposto di ciò che attualmente si verifica, la concentrazione, allora certamente enorme, superasse e forse di molto l'evaporazione. Secondo i calcoli di Collomb (3)

(1) *Geographie de la mere*, § 473.
(2) *Métérologie*, pag. 132.
(3) *Sur le volume d'eau debité par les anciens glaciers* (Compts Rend. de l'Ac. des Sc. Tom. LXVII).

in base allo sviluppo attuale dei ghiacciai alpini, le Alpi avrebbero tributata al Mediterraneo nell'epoca glaciale una quantità d'acqua 17 volte maggiore. Trattandosi dei versanti italiani, anche in oggi molto più piovosi dei versanti svizzeri, essi dovevano darne una quantità maggiore e fors'anche il doppio. Con quel clima così caldo, i ghiacciai italiani, per quanto enormi, non potevano svilupparsi certamente come farebbero in oggi che il clima è più rigido, quando le piogge e le nevi fossero oggi così abbondanti come nell'epoca glaciale. L'acqua versata dagli antichi ghiacciai nel Mediterraneo doveva dunque rappresentare la parte minima in confronto di quella versatavi dai fiumi i quali erano in quell'epoca, come abbiam dimostrato, così straordinariamente potenti. Sia pure adunque che il Mediterraneo dell'epoca glaciale, compresovi il mare Sahariano col resto, fosse molto più vasto dell'attuale: ma con una quantità d'acqua dolce almeno 17 e probabilmente 20 o 30 volte maggiore versatavi dai ghiacciai, e con quell'altra quantità chissà quanto enorme portatavi dai fiumi, si può ritenere come molto probabile, quasi come certa l'idea che la concentrazione superasse l'evaporazione, come abbiam detto. In questo caso l'acqua dolce, che in quantità eccessiva si versava nel mare a piedi delle Alpi doveva, ad onta della sua temperatura più fredda, galleggiare sull'acqua calda che molto condensata entrava nel Mediterraneo e quindi nell'Adriatico. Avremmo avuto dunque questo mare, e chissà quanta parte del Mediterraneo nelle condizioni attuali della baja di Baffin, cioè con un sistema di correnti discendenti fredde, alla superficie e un sistema di correnti calde, ascendenti sul fondo. Che cosa doveva avvenire in questo caso dell'acqua calda la quale rimontava, come corrente inferiore, verso le Alpi? Essa, per mio modo di vedere, dopo aver mantenuto sul fondo un caldo ambiente a profitto della fauna sedentaria, cioè dei molluschi e degli altri testacei che vivevano in quel mare, doveva poi sorgere verso i littorali, come sorge in oggi verso il polo, mantenendo un clima temperato su quelle terre le quali, benchè percorse da ghiacciai che discendevano fino al mare, erano in grado così di alimentare a fianco degli stessi ghiacciai una lussureggiante vegetazione, ed una fauna terrestre bisognosa di un clima temperato. È così che il libero mare si mantiene in oggi con una temperatura di 2 a 4 gradi sopra zero entro una cintura di ghiacci.

In questo parallelo non vi sono su per giù che differenze di più o di meno. Il *Gulf-Stream* e le correnti sahariane; la corrente fredda della baja di Baffin e la fiumana superiore dell'Adriatico; il libero mare e la tiepida riviera; la fauna calda dell'Adriatico e quella temperata del mare glaciale; le terre ghiacciate del polo e le terre subalpine temperate, ma fredde in confronto del mare; sono termini che si corrispondono in modo abbastanza sicuro perchè il lettore possa aver fede nelle conclusioni esposte nel presente capitolo.

Ora che abbiamo in mano tutti gli elementi per stabilire il clima delle Alpi nell'epoca glaciale, siamo obbligati di rivenire ancora sulla questione di quel clima terrestre, il quale doveva necessariamente sentire l'influenza di quel sistema di correnti calde, le quali la esercitavano così immediata e potente sul clima marino. Abbiamo attribuito al predominio dei venti umidi e caldi di sud-ovest principalmente la mitezza e l'umidità del clima alpino e subalpino dell'epoca glaciale. Non ritiriamo nessuna parola di quanto abbiam detto in proposito: solo vogliamo osservare che a mantenere caldi ed umidi quei venti di sud-ovest dovevano servire assai bene, come in oggi serve il Gulf-Stream, quelle stesse correnti marine, principalmente quella del Sahara, che ne accompagnavano il corso fin presso le Alpi. Abbiamo già infatti accennata l'influenza del *Gulf-Stream* sull'Europa occidentale e unitamente sulle isole britanniche, e dei venti S. O. (venti di scirocco umidi e caldi) che vengono nella stessa direzione. Questa influenza si traduce colle parole *clima umido e dolce.* Il sig. Ch. Martins la descrive assai bene nei brevi periodi seguenti: « L'evaporation du *Gulf-Stream* étant très-active, ces vents » (i venti di S. O.) poussent sans cesse vers l'Europe des nages qui se résol» vent en pluie à mésure qu'ils penètrent dans l'air plus froid du continent. » De là un ciel habituellement couvert et des pluies fréquentes; de là un climat

„ assez égal, les vents de sud-ovest rechauffant l'atmosphére en hiver et la raf-
„ raichissant en été! Un ciel habituellement couvert s'oppose au rayonnement du sol
„ en hiver et à son echauffement en été; de là des hivers relativement doux et
„ des étés sans grandes chaleurs; un air chargé d'humidité: c'est-à-dire un cli-
„ mat égal ou marin (1) „.

Nell'epoca glaciale le Alpi erano in questa condizione. La corrente Sahariana era, lo ripeto, pel gran mare interno un vero *Gulf-Stream*. Nelle regioni verso cui era diretta quella grande corrente doveva regnare un clima umido, nè molto freddo d'inverno nè molto caldo d'estate. Qual cosa ci può essere di più favorevole allo sviluppo e alla persistenza dei ghiacciai, una volta che avessero potuto formarsi? Si potrebbe qui, in opposizione a quanto si è detto circa l'epoca glaciale, fare un quadro di quella che le tenne dietro, cioè dell'epoca dei terrazzi. Ma questo quadro è così presto immaginato . . . Posteriormente all'epoca glaciale ha luogo un graduale e quasi universale sollevamento dei continenti, nominatamente delle regioni circummediterranee (1). Le tre vie di comunicazione tra il Mediterraneo e l'oceano sono sopresse, sostituendosi a loro quella angustissima dello stretto di Gibilterra. Il Sahara va trasformandosi in deserto e prende la sua carica di primo braciere del mondo. I venti di S. O. diventano meno frequenti ed anche meno umidi, venendo sostituiti sovente dai venti di nord: al clima umido succede una siccità relativa; la soppressione delle correnti calde è cagione di freddo relativo in terra ed in mare; ad un'epoca di caldo, benchè si chiami glaciale, succede un'epoca di maggior freddo; ad un'epoca di piene un'epoca di magre; ad un'epoca di progresso de' ghiacciai un'epoca di re-

(1) Ch. Martins, *Tableau plysique du Sahara oriental.* Paris, 1864.

(2) Sono veramente singolari le conclusioni che il sig. Gian Antonio Bianconi di onorata memoria traeva da questo fatto. Nella sua Memoria *Il mare Mediterraneo e l'epoca glaciale*, scritta con molta convinzione e maestria, allontanandosi da quanti hanno trattato l'argomento e dimenticando che l'elevazione dei terreni presenta enormi differenze di livello, che vi sono sollevamenti ed abbassamenti, che intiere regioni, come il Veneto, non posseggono terreni pliocenici o glaciali marini, che il sollevamento si verifica anche fuori dell'antico Mediterraneo e per l'Europa come per l'America, dimenticando insomma tutti i fatti che provano le oscillazioni del suolo, mentre non ve n'è uno che deponga pel sollevamento del mare si è provato a dimostrare che i terreni marini-glaciali, ora all'asciutto, lo divennero per un abbassamento del Mediterraneo, il cui livello nell'epoca glaciale doveva essere, come abbiamo accennato, alto più centinaja di metri su quello dell'oceano. Ecco la sua tesi. — Essendo chiuso lo stretto di Gibilterra, il Mediterraneo dell'epoca glaciale che comprendeva anche il Sahara e la grande depressione Aralo-Caspiana oltre il resto, formava nello stretto senso un mare interno. Ma le acque che discendevano dai monti circummediterranei erano allora molto più abbondanti. S'appoggia per questo ai citati calcoli di Collomb. Quel mare perciò doveva molto gonfiarsi sopra il suo attuale livello. È vero che funzionava da emissario l'istmo di Suez continuantesi col Mar Rosso. Ma esso era troppo angusto per tanta piena, e sta sempre il principio che un ostacolo a valle produce un rigurgito, ossia un rialzamento del livello d'una corrente a monte. L'antico Mediterraneo doveva dunque possedere un'altezza di livello superiore all'attuale, sufficiente a dar ragione dell'attuale elevazione dei terreni marini riferibili all'epoca glaciale, le sabbie gialle subappennine compresevi, che rimasero asciutti quando si dischiuse lo stretto di Gibilterra e cessarono le cause della piena intermediterranea.

L'egregio autore non si è accorto di una cosa semplicissima la quale atterra tutto il suo ragionamento. La causa della piena intermediterranea era, come egli lo ammette e lo sostiene, specialmente il mare Sahariano, cioè quella quantità maggiore di vapori che venivano poi a condensarsi in piogge e nevi in seno al grande bacino. Siccome il mare Sahariano era compreso nel Mediterraneo glaciale, ci doveva essere perfetta elisione tra causa ed effetto. Il tanto di più che evaporava, era un tanto di più che pioveva e nevicava; e così viceversa: dunque perfetto pareggio; che non dà luogo ad aumento nè di debito nè di credito. Il Mediterraneo non poteva alzarsi nemmeno un millimetro per la causa indicata. Quanto s'è detto vale anche per dimostrare l'insussistenza di quanto si studia di dimostrare il Bianconi per la comunicazione tra il golfo di Lione e il golfo di Guascogna, che si sarebbe mantenuta anche questa in grazia dell'alto livello del Mediterraneo, per cui superava il diaframma esistente fra i due golfi, e formava una corrente discendente verso l'oceano. L'altra cosa di cui non si è accorto il Bianconi è proprio una cosa di geografia fisica elementare ed è questa, che un bacino interno il quale abbia un emissario superiore al livello del mare in cui si versa non è e non può essere più altro che un lago d'acqua dolce. Tale sarebbe divenuto il suo antico Mediterraneo, non essendo ammissibile che il canale di Suez fosse largo e profondo quanto bastasse a permettere lo scambio delle acque in tal copia che quell'immenso oceano interno si mantenesse nemmeno salmastro come certe lagune. La fauna glaciale invece indica un mare in eccesso piuttosto che in difetto di salsedine.

gresso. Fu sulla fine di questo periodo di regresso, di magre e di freddo che comparve l'uomo in Europa. Qui, come nel mondo tutto, trovava un clima meno regolare, meno uniforme di quello che fu così favorevole allo svolgimento delle creature irragionevoli che lo precedettero per così lunga fuga di secoli, cominciando dall'êra protozoica, fino a quella che dal suo nome chiamossi antropozoica. Ma l'intelligenza, di cui Dio ha fornita questa prediletta fra le creature, lo rendeva più di qualunque specie animale cosmopolita, prestandogli i mezzi di vincere e di volgere a suo pro' anche i più ribelli elementi. Nel tempo stesso le diverse condizioni di clima, l'ineguale distribuzione degli elementi richiesti per soddisfare a' suoi bisogni fisici, intellettuali e morali, avrebbero stabilita la prima condizione di quella società universale che deve stringere, con vincolo sempre più generale e perfetto, tutte le umane famiglie, disperse sulla superficie del globo, dalle cocenti sabbie del deserto fino agli eterni ghiacci del polo.

RIEPILOGO E CONCLUSIONE

Collo studio che ci presta la materia del volume che ora si chiude dopo lunga fatica, ci eravamo prefissi di dare un positivo contributo alla *geologia continentale*, narrando per l'Italia quanto avvenne dall'epoca della sua definitiva emersione fino a quella in cui, ricca della preziosa aggiunta de' suoi colli morenici, altipiani marino-glaciali e delle sue alluvionali pianure, fertile portato dell' êra neozoica, ossia del doppio periodo degli antichi ghiacciai e dei terrazzi, si trovava all'ordine per dare opportuno ricetto all'uomo, venuto più tardi a pigliarne possesso.

Abbiamo veduto come l'epoca della effettiva emersione della Penisola italica si possa fissare su per giù tra il mezzo del periodo eocenico, in cui le Alpi e gli Appennini formavano ancora un gruppo d'isole sorgenti in mezzo all'oceano nummolitico che ricopriva l'Europa, e la fine del periodo pliocenico, quando in seno ai due mari, che già le facevano cintura, deponevansi ancora le argille azzurre che le fanno ora un contorno di colline, e a cui si addossavano, a' piedi delle Alpi, i terreni dell'epoca glaciale. È indubitato che, sulla fine del periodo pliocenico, il mare si inoltrava ancora fino alle basi montuose dell'Appennino e delle Alpi, ricoprendo tutta la vasta zona di pianure alluvionali, di altipiani marino-glaciali, e di colli composti di sabbie marine, di letti marino-glaciali e di morene, che corre al presente tutto all'ingiro della Penisola (pag. 1-13).

Fu verso la fine dello stesso periodo pliocenico, e fors'anche più presto, che dalle cime più elevate dell'Alpi, come dalle sommità di tutti i grandi rilievi del globo, si mossero i *ghiacciai*, per invadere la massima parte delle regioni basilari o meno elevate degli emersi continenti. Uno studio compendiato della dinamica dei ghiacciai alpini ci ha posto in grado di apprezzare i grandiosi effetti di quell' invasione e di distinguere, tra i mille che hanno diversa origine, i terreni da loro deposti in grandi masse, sotto forma di morene, di anfiteatri morenici, di strati fluvio-glaciali o lacustro-glaciali, i quali dovevano prestare principale argomento alle nostre indagini (pag. 14-35).

Il modo più spiccio e più sicuro di rintracciare quei terreni e di fissarne l'estensione quanto all'Italia era quello di cominciare da una esatta ricognizione dei ghiacciai attuali, partendo dal principio che gli antichi ghiacciai, avendo dovuto essere vincolati e condizionati all' orografia dei diversi paesi che è ancora in oggi fondamentalmente la stessa, dovettero formarsi sugli stessi rilievi, dipartirsi dagli stessi punti da cui gli attuali si dipartono e seguire la stessa via; dovettero insomma essere i ghiacciai attuali, colla sola differenza che si gonfiarono e si avanzarono allora oltre i limiti attuali, quel tanto che era loro acconsentito dalla maggior potenza, dovuta alla massa maggiore e favorita da tutte le condizioni che dovevano promuoverne lo sviluppo. Con altre parole, i ghiacciai attuali sono ancora gli antichi, ma molto scemi di potenza e di mole. Conveniva perciò, ripeto, passare preventivamente in rassegna gli attuali ghiacciai d'Italia,

il che abbiamo fatto, ripartendoli in nove *sistemi primari* ed otto *secondari*, di cui abbiamo brevemente tracciato la topografia e lo sviluppo (pag. 36-43).

Siamo allora entrati nel campo analitico; dapprima colla dipintura del *paesaggio morenico*, ossia colla indicazione degli indizi generali del maggiore sviluppo degli antichi ghiacciai alpini dell'alta Italia (pag. 44-63); poi colla descrizione particolareggiata dei singoli sistemi primari e secondari degli antichi ghiacciai in corrispondenza coi singoli sistemi attuali. Ci siamo fermati principalmente a delimitare e descrivere i grandi anfiteatri morenici che i singoli ghiacciai antichi edificarono allo sbocco delle rispettive valli; quegli anfiteatri così interessanti per la loro potenza, estensione e regolarità, per cui l'alta Italia può dirsi per eccellenza la terra degli antichi ghiacciai. Così furono partitamente descritti l'antico ghiacciajo della Dora Riparia (pag. 64-66), quello della Dora Baltea (pag. 67-68), del Ticino ossia del Lago Maggiore (pag. 69-75), dell'Adda o del Lago di Como (pag. 75-85), del Lago di Lugano (pag. 85-86), dell'Oglio o del Lago d'Iseo (pag. 87-90), della Sarca o del Lago di Garda (pag. 90-106), dell'Adige (pag. 107-110), della Piave (pag. 110-111), del Tagliamento (pag. 111-119). Questo studio particolareggiato, a cui si aggiunse quello molto più breve degli antichi ghiacciai secondari delle valli della Stura, del Po, Sesia, Brembana, Seriana, Scalve, Trompia, Sabbia, Agno, Astico, Brenta e Isonzo (pag. 120-126), e quello appena iniziato degli antichi ghiacciai dell' Appennino (pag. 127-130), ci permise di venire alle seguenti conclusioni:

1. Tutte le grandi valli alpine, sui versanti italiani, dalla Dora Riparia al Tagliamento, furono anticamente occupate da un ghiacciajo il quale levossi ad altezze di 500 a 1000 m. sopra il letto attuale dei fiumi, e si spinse più o meno, oltre lo sbocco della rispettiva valle, ai confini settentrionali della pianura eridana. Alcuni di quei ghiacciai, superando le selle delle valli rispettive, divennero fra loro confluenti.

2. Ciascun ghiacciajo, come risultava a monte di diversi confluenti dalle valli laterali, così diramossi a valle nei seni e nelle valli, dando origine a rami staccati, e ad altri che si riunirono al tronco entro i limiti d' espansione di ciascun grande ghiacciajo.

3. Dall'invasione del ghiacciaio nella valle principale e dalla sua diramazione nei seni e nelle valli laterali, ebbero origine le morene laterali o insinuate e la dispersione dei massi erratici, in tutta la regione a monte della linea di massima espansione dei singoli ghiacciai.

4. In un lungo periodo di sosta ciascuno dei grandi ghiacciai diè origine sulla sua fronte ad un sistema di morene frontali, costituenti un anfiteatro morenico più o meno complesso. Agli anfiteatri morenici corrispondono i paesi di collina più fertili, allineati alle falde meridionali delle Alpi e delle Prealpi, come le colline di Rivoli e d'Ivrea, quelle del Lago Maggiore e di Varese, la Brianza e le sue adiacenze, le colline a mezzodì del lago di Garda, i colli Trevisani e quelli del Friuli tra Udine e la Valle del Tagliamento.

5. Benchè il periodo degli anfiteatri morenici possa considerarsi come un gran periodo di sosta degli antichi ghiacciai, la composizione degli anfiteatri stessi, risultando dalla justa-posizione di un numero maggiore o minore di morene concentriche, accusa una serie di periodi di regresso, alternanti con altrettanti periodi di sosta.

6. Dopo l'ultimo punto di sosta, indicato dalla cerchia più interna degli anfiteatri morenici, tutti i ghiacciai furono soggetti a un movimento di regresso continuo e relativamente rapido, come è reso palese dall' assenza delle morene frontali, nel tronco inferiore delle vallate alpine a monte degli anfiteatri morenici.

7. Il detrito erratico delle Alpi negli anfiteatri morenici, e più ancora nelle morene e nei minori accumulamenti morenici a monte degli anfiteatri, è distribuito invariabilmente secondo i versanti.

Fino a questo punto si era arrivati, più o meno perfettamente, e con viste più o meno generali colle pubblicazioni dei diversi autori precedentemente a quella

del presente volume. Ma le recenti scoperte hanno aperto un ben più vasto campo alle indagini riguardanti l'epoca glaciale specialmente in Italia. Poche ricerche, per non dire nessuna, si erano fatte circa i rapporti del terreno glaciale coi precedenti d'origine marina. Si ammetteva soltanto che il periodo glaciale fosse posteriore al periodo pliocenico, e non solo al *pliocene inferiore* a cui si ascrivevano le argille azzurre, ma anche al cosidetto *pliocene superiore*, rappresentato dalle *sabbie gialle* sovrapposte alle argille. I ghiacciai però non si erano trovati in nessun rapporto diretto col mare; ritenevasi anzi dai più che un periodo d'alluvioni, segnalato col nome di *diluvium*, avesse preceduto il glaciale, e che su quelle antiche alluvioni si fosse appunto deposto il terreno glaciale. I fatti più luminosi provano invece che, quando ancora si deponevano le ultime argille, e molto prima che si deponessero le sabbie marine ad esse sovrapposte, il mare frangeva ancora contro le basi delle Alpi e delle Prealpi costituite in genere dagli strati eocenici e miocenici sollevati, e s'insinuavano nelle grandi valli alpine che erano altrettanti bracci di mare e fiords. Contemporaneamente le nevi, accumulate sulle vette e sui fianchi delle Alpi, generavano i ghiacciai, e questi, dopo aver percorsa tutta la parte superiore delle dette valli, trovavano il mare nel tronco inferiore, cioè all'estremità interna del rispettivo fiord, e colmatolo interamente, sboccavano poi in aperto mare dove ora sorgono gli anfiteatri morenici da cui si dipartono gli altipiani e la pianura che si sostituirono e vanno ancora sostituendosi all'antico mare con lento processo (pag. 131-133).

La dimostrazione di questa tesi così complessa doveva consistere nel mettere in chiaro il carattere marino degli anfiteatri morenici ai piedi delle Alpi; e si cominciò da quello del lago di Como. Si fè palese dapprima come entro le argille plioceniche, ricche di marine conchiglie nei dintorni di Balerna, non solo si incontrano massi indubbiamente glaciali in grande abbondanza, ma la stessa morena vi si radica, risultandone tra il pretto terreno marino, e il terreno prettamente glaciale, un terreno ibrido, marino e glaciale ad un tempo (pag. 134-142). Presso Cassina Rizzardi la cosa riesce ancora, se è possibile, più evidente. Le stesse morene che compongono l'anfiteatro sono sparse di una quantità innumerevole di conchiglie marine, ed offrono nella loro composizione i caratteri di un lido, formato di detrito glaciale, rimestato dal mare nel tempo stesso che i ghiacciai ve lo andavano deponendo (pag. 142-145).

Qui un assalto, altrettanto intempestivo quanto precoce, diretto contro l'autore da scienziati nazionali e stranieri prima che si fosse potuto mettere in luce nemmeno la decima parte dei fatti che ora apertamente dimostrano l'esistenza del mare ai piedi ed in seno delle Alpi nell'epoca glaciale, ci obbligò ad una polemica poco piacevole, la quale doveva aver per effetto di precisare e di collocare sotto una luce sempre più viva i fatti di Cassina Rizzardi, liberando da ogni difficoltà le conclusioni che ne derivano per logica necessità (pag. 145-160). Ci servirono moltissimo all'uopo le osservazioni dei diversi esploratori delle regioni polari, specialmente le nuovissime del sig. Helland sui ghiacciai della Norvegia e della Groenlandia (pag. 160-167). Abbiamo potuto vedere del resto come la natura glaciale e marina delle morene di Cassina Rizzardi è comune a tutto l'anfiteatro morenico del lago di Como (pag. 167-170), e raccogliere dalle morene che la compongono un'intera fauna marina, che numera 156 specie di testacei almeno, per la massima parte conchiglie, delle quali 69 soltanto si ritengono estinte, appartenendo le altre 76 a specie viventi. Questa fauna serve a stabilire con certezza il posto che il terreno glaciale deve occupare nella serie stratigrafica, rimanendo da essa chiarito con tutta certezza che detto terreno in Lombardia deve ritenersi indubbiamente come equivalente ossia contemporaneo del pliocene superiore, mentre delle 156 specie componenti la fauna glaciale dell'anfiteatro di Como 109 almeno si trovano nello stesso pliocene superiore, cioè nelle *sabbie gialle subappennine*, nelle quali se ne riconobbe fin qui il principale rappresentante. Così il *pliocene superiore* è diventato *glaciale* e come tale dovrà quind'innanzi considerarsi (pag. 170-173). Questo risultato acquista un appoggio sempre maggiore

dallo studio delle sabbie e delle argille che si trovano alla base dell'anfiteatro (pag. 173-177), e più ancora da quello tutto nuovo dell'origine della Groana, e in generale dell'origine *glaciale-marina* delle *brughiere*, ossia dei grandi terrazzi premorenici dell'alta Italia.

Il parallelo che si può istituire tra la nostra Groana e i terrazzi premorenici d'origine glaciale-marina che si trovano tra il mare e i grandi laghi della Norvegia, non può essere più rassicurante. A togliere ogni dubbio vennero in buon punto molte conchiglie marine, scoperte già in parecchie località, con giacitura certa e certissima in seno ai depositi componenti la *Groana* la quale non è che porzione del bassofondo littorale dell'antico mare glaciale ai piedi delle Alpi, ossia porzione del deposito glaciale-marino che si formava esternamente alle morene nell'epoca glaciale, sul fondo di quel prolungamento occidentale dell'Adriatico che ora è divenuto pianura o valle del Po. L'isolamento della Groana è dovuto all'azione dei fiumi che agirono in seguito al sollevamento, frazionando tutto il deposito marino che ricopriva il fondo dell'antico Adriatico messo a nudo dallo stesso sollevamento. La Groana insomma si può pigliare come porzione tipica di quel sistema di terrazzi alla base delle Alpi e degli Appennini, che rappresenta il fondo del mare glaciale sollevato, roso, frazionato in tanti altipiani grandi e piccoli, quanti sono i fiumi, i torrenti, i ruscelli, che hanno esercitato, di concerto col mare fuggente, e col Po che gli si andava sostituendo, per tanti secoli la loro edacità (pag. 177-186).

Le conclusioni circa l'origine marina dei nostri anfiteatri, dedotte dallo studio dell'anfiteatro del Lago di Como, trovarono suffragio nelle condizioni dell'anfiteatro morenico del Lago Maggiore che ne attestano l'origine marina (pag. 187-191), e meglio ancora in quelle dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea. Questo stupendo anfiteatro, di cui forma il lato sinistro la tanto celebrata morena della Serra, è composto, fino alla sommità sulla fronte e fino a grande altezza sui lati, di terreno marino-glaciale, dove alternano sovente i letti di sabbie marine quasi prette con letti di ammassi di ciottoli glaciali, raccogliendovisi in molti punti, e ormai si può dire dappertutto, le conchiglie marine in mezzo ai ciottoli striati ed ai massi erratici d'ogni forma e d'ogni dimensione (pag. 192-205): onde si conclude che gli antichi ghiacciai alpini, quelli nominatamente del Lago di Como, del Lago Maggiore e della Dora Baltea trovarono il mare allo sbocco delle rispettive gole e vi gettarono le fondamenta del loro rispettivo anfiteatro.

Questi fatti ci porsero sicuro argomento per fissare l'origine in genere di molti laghi alpini, ed in ispecie dei grandi laghi Lombardi. Precisati i rapporti tra questi ultimi ed i rispettivi anfiteatri che li limitano e li contengono a valle verso mezzodì (pag. 206-208); dimostrata la falsità delle ipotesi finora emesse circa l'origine dei laghi stessi, principalmente quella della *riescavazione* e negata l'esistenza di una alluvione preglaciale, cioè di un *diluvium*, sulla quale l'ipotesi stessa era fondata, mentre i ceppi o conglomerati infraglaciali non rappresentano che altrettanti delta torrenziali dell'epoca pliocenica (pag. 208-220); siamo passati a stabilire i fatti da cui risulta che i laghi Lombardi non sono altro che bracci di mare o fiords, occupati dai ghiacciai durante il loro avanzamento, sbarrati a valle ossia verso mare dai rilievi morenici e per ciò intercettati in tal guisa che, rimasti vuoti al ritirarsi dei ghiacciai, dovettero necessariamente convertirsi in laghi d'acqua dolce. La barriera, principiata dalle argille plioceniche col rialzamento del fondo marino allo sbocco dei fiords, fu continuata e compita, prima o avanti il sollevamento postglaciale della regione alpina, dai ghiacciai, prima coi depositi marino-glaciali morenici e premorenici, poi colle morene terrestri in cui si convertirono le sottomarine mano mano che si elevarono sopra il livello dell'antico mare (pag. 221-233). Qui poi, in via di digressione, abbiamo cercato di stabilire, in dipendenza dall'effetto prodotto dall'estensione degli antichi ghiacciai sotto le diverse latitudini, e quindi in modo affatto contrario all'ipotesi di Peschel, l'origine e la distribuzione dei fiords (pag. 233-237), terminando col fissare anche quella dei piccoli laghi intermorenici, frontali o laterali

di sbarramento che si trovano nella regione invasa dagli antichi ghiacciai (pag. 237-238).

Ma i ghiacciai che diedero origine a tanti laghi ancora esistenti, incrociando e sbarrando a suo tempo le valli laterali, dovevano produrne un numero assai maggiore, i quali scomparvero o col vuotarsi ovvero col ricolmarsi per effetto dei depositi che ne rialzarono il fondo e ne ostrussero la cavità. Le condizioni speciali in cui devono trovarsi questi depositi lacustro-glaciali, ci hanno permesso di segnalarne parecchi di questi laghi, contemporanei dei ghiacciai ed ora scomparsi, sulle sponde del lago di Como (pag. 239-242) ed altri più importanti su quelle del lago d'Iseo. La val-Borlezza, la val-del-Foresto, la val-Adrara, e specialmente il bacino lignitico di Leffe o di val Gandino, oltre al fornirci esempi molto istruttivi delle formazioni in discorso, ci restituirono le preziose reliquie della flora e della fauna glaciale. Fu dischiusa per tal guisa la via ad estendere maggiormente le nostre cognizioni circa l'epoca glaciale coll'applicazione dei criterî paleontologici alla ricerca degli *equivalenti* del terreno glaciale ed alla soluzione dei più ardui problemi, risguardanti le condizioni climatologiche dell'epoca e le cause di quello straordinario svolgimento di ghiacci (pag. 239-252).

Applicando i suddetti criteri, abbiamo potuto indicare come terreni equivalenti ossia contemporanei del terreno glaciale, il grande ossario della Val-d'Arno, superiore, occupata nell'epoca glaciale da un gran lago indipendente dai ghiacciai; molte alluvioni antiche al piede delle Alpi e degli Appennini; i depositi delle caverne ossifere anteriori alla venuta dell'uomo; e, ciò che più conta, le *sabbie gialle subappennine*, e in genere quelle formazioni marine, che avevano prestato un falso fondamento a distinguere nella serie stratigrafica un pliocene superiore antecedente al glaciale (pag. 253-264).

Studiando in seguito se la grande epoca glaciale potesse ripartirsi, in base ai dati geologici e paleontologici, in diversi periodi; rifiutata in massa la distinzione proposta dai geologi di due o più epoche glaciali; si è stabilito doversene mantenere la geologica unità, nel senso che si tratta di una lunga epoca glaciale, la quale, come tutte le grandi epoche che la precedettero, ha presentato diversi periodi e diverse fasi, rimanendo pur sempre caratterizzata da un complesso di fenomeni successivi e dipendenti gli uni dagli altri, per cui quest'epoca presenta forse meglio di qualunque altra ciò che si esige dai geologi per fissare un'epoca nella grande storia del globo (pag. 265-268).

I fatti osservati in Italia ci autorizzano però a ripartire l'epoca glaciale, come si è fatto per le altre epoche, in periodi distinti e successivi, che sono:

1.° *Periodo di massimo avanzamento*, in cui gli antichi ghiacciai si spinsero verso il mare oltre i confini degli anfiteatri morenici (pag. 268-273).

2.° *Periodo degli anfiteatri morenici*, o periodo di sosta; con oscillazioni entro i limiti degli stessi anfiteatri (pag. 273-274).

3.° *Periodo di regresso*, detto più comunemente *periodo dei terrazzi*, durante il quale i ghiacciai si ritirarono fin verso i loro attuali confini.

Quest'ultimo periodo è quello che merita veramente di essere considerato come periodo a sè, interessantissimo tanto per le cause che lo produssero e gli effetti prodotti, quanto per la luce che sparge sulle cause dei periodi precedenti, ossia dell'invasione degli antichi ghiacciai. Il periodo dei terrazzi è caratterizzato da due fenomeni, egualmente continentali, egualmente universali, e sono 1.° un ulteriore sollevamento degli attuali continenti; 2.° l'erosione dei detriti fluviali o glaciali, che durante l'epoca glaciale si distesero sulla superficie degli stessi continenti. Le coste, per effetto dell'azione del mare combinata con quella del sollevamento, presero la forma di terrazzi: ugualmente le masse detritiche, alluvionali o glaciali, rimasero terrazzate per l'azione erosiva delle correnti di terra. All'epoca post-glaciale conviene adunque per ogni verso il nome di *epoca* o di *periodo dei terrazzi* (pag. 275-281). L'Italia ha partecipato anch'essa al sollevamento dei continenti, posteriormente all'epoca glaciale; anzi è quella forse che ci ha più guadagnato in confronto degli altri paesi (pag. 281). Se questo si

può affermare degli Appennini e delle Alpi in genere, nominatamente per le provincie più occidentali dell'Italia subalpina; è pur vero ugualmente che per le provincie venete verificossi invece un sensibile abbassamento il quale, già dimostrato con diverse prove, vien posto in piena luce al presente collo studio delle condizioni affatto speciali del grande anfiteatro morenico del lago di Garda (pag. 282-288). Quanto al terrazzamento, esso non si verificò soltanto per le alluvioni, ma anche per gli stessi depositi glaciali ossia morenici, come risulta specialmente dallo studio speciale dell'anfiteatro morenico del lago d'Iseo (pag. 288-293).

Dovevansi radunare e discutere tutti questi fatti prima di affrontare l'arduo problema della climatologia glaciale, al quale le recenti scoperte, specie quelle di una fauna glaciale-marina, sembravano non aver fatto altro servizio che quello di una maggiore complicazione. Nè poteva essere diversamente se, come si riteneva da tutti senza discussione, l'epoca glaciale doveva considerarsi assolutamente come un'epoca di freddo infierendo il quale eransi dapprima avanzati i ghiacciai, mentre, mitigandosi esso in seguito, si erano ritirati.

Noi abbiam cercato dapprima di porre la questione ne' suoi giusti termini, dimostrando come dal semplice fatto dell'estensione degli antichi ghiacciai, non ne veniva nessun argomento in favore di una temperatura climatologica più bassa o più alta dell'attuale. Abbiamo in seguito riportati molti fatti i quali dimostrano potere i ghiacciai formarsi e svilupparsi in regioni temperatissime, autorizzandoci a rilegar finalmente tra i pregiudizi più indegni della scienza questo che allo sviluppo degli antichi ghiacciai sia stato necessario un freddo più diuturno o più intenso dell'attuale (pag. 294-301). Per precisare ancor meglio i termini della quistione che doveva trattarsi, si è stabilita la distinzione tra clima terrestre e clima marino, dimostrando che in qualunque data regione non vi sono tra l'uno e tra l'altro che dei legami molto deboli, sicchè si verifica benissimo un clima eccessivamente freddo sopra una terra lambita da un mare relativamente caldo (pag. 301-302).

Cominciando allora a stabilire i fatti da cui si può cavare argomento per fissare, prescindendo dall'estensione dei ghiacciai, quale fosse realmente nella sua universalità il clima dell'epoca glaciale; applicati dapprima alla ricerca del clima terrestre i dati forniti ci dalla flora e dalla fauna terrestre, quindi alla ricerca del clima marino quelli che ci offriva la fauna marina; siamo venuti alla conclusione che, durante quel grande periodo d'invasione degli antichi ghiacciai, il clima terrestre sui versanti italiani delle Alpi fu mite, probabilmente più di quello che vi regna attualmente. Quanto al clima marino, non fu solamente mite, ma decisamente caldo (pag. 302-315).

Restano così sventate tutte le ipotesi nelle quali si considerava a priori il freddo come causa dell'epoca glaciale (pag. 315-317). Venendo poscia a cercare come quella singolare mitezza di clima si possa conciliare col fatto dello sviluppo straordinario degli antichi ghiacciai; messa da parte come inammissibile la ragione del freddo maggiore, e postici invece a cercare se la ragione potesse trovarsi nell'umidità, ossia in una maggiore abbondanza di vapori atmosferici destinati a concentrarsi in nevi; abbiamo potuto raccogliere gli argomenti più indiscutibili da cui risulta che veramente il periodo in cui si svilupparono gli antichi ghiacciai fu il periodo di umidità ossia di piogge e di nevi oltremodo esuberanti, mentre periodo di relativa siccità fu quello dei terrazzi a cui corrisponde il regresso degli stessi antichi ghiacciai (pag. 317-327).

Tutti i fatti precitati ci hanno spianata la via per affacciarci a quella difficilissima questione, la cui soluzione sarebbe il massimo dei risultati a cui speriamo di essere pur giunti collo studio dell'êra neozoica. Quali sono le cause le quali hanno prodotte quelle condizioni di clima ond'ebbero origine i grandiosi fenomeni dell'epoca glaciale? Autorizzati dalle premesse a considerare l'epoca glaciale come un doppio periodo di umidità antecedente e di siccità conseguente, alla questione delle cause si è premessa una questione di massima: se e come possa variare nella sua universalità la climatologia del globo. Questa questione

si è risolta nel senso che uno solo dei due fattori del clima, cioè l'umidità, può variare di quantità assoluta (condizione necessaria perchè varî il clima nella sua universalità) mentre la temperatura, cioè l'altro fattore che conosce per sua fonte principale o piuttosto unica il sole, mantiene sulla terra un quantitativo costante. La quantità dei vapori atmosferici, destinata a concentrarsi in pioggia o neve, è difatti proporzionata alla estensione della superficie evaporante, ed alla temperatura del liquido e dell'aria stessa che al liquido incombe. Deve perciò necessariamente aver variato nelle diverse epoche del globo col variare della distribuzione dei continenti e dei mari (pag. 328-331).

Stabilita questa legge, si venne all'analisi dei fatti e ci risultò che la distribuzione delle terre e dei mari nel periodo corrispondente allo sviluppo degli antichi ghiacciai era realmente favorevole alla produzione di una quantità di vapore atmosferico assai maggiore dell'attuale. I fatti principali a cui abbiamo potuto appoggiarci sono quelli dell'esistenza di un mare Sahariano; di una estensione molto maggiore del mare Mediterraneo; dell'esistenza di un altro mare asiatico interno, forse più vasto del Mediterraneo, di cui non sono che avanzi il Caspio, l'Aral, il mare d'Azof, ed in parte il mar Nero; finalmente l'esistenza di un altro mare che ricopriva le immense pianure dell'America meridionale. Durante il periodo degli antichi ghiacciai una quantità assolutamente assai maggiore di vapori era messa in circolazione per mezzo dell'atmosfera, risultandone una quantità assolutamente maggiore di pioggie e di nevi, onde più poderose riuscir dovevano le correnti e più estesi i ghiacciai. L'opposto doveva succedere nel *periodo dei terrazzi*, quando il sollevamento postglaciale, mettendo gradatamente all'asciutto i nominati mari, doveva gradatamente diminuire la quantità assoluta di vapori atmosferici, risultandone come necessaria conseguenza il dimagramento delle correnti e il graduale regresso dei ghiacciai (pag. 331-338).

Che la mitezza del clima, sia terrestre che marino, dovesse essere l'effetto delle surriferite condizioni geografiche e meteorologiche, ci siam messi a dimostrarlo particolarmente per l'Italia. Applicando alle condizioni speciali dell'Italia, nell'epoca glaciale la teoria della circolazione atmosferica secondo il sistema di Maury, ci risultò infatti dimostrato.

1.° Che i venti extratropicali sud-ovest, venti caldi ed umidi, dovevano essere costanti o almeno più regolari;

2.° Che quegli stessi venti, appunto perchè umidi e più costanti, dovevano recare una maggiore quantità di vapori sulle catene meridionali dell'Europa, nominatamente sulle Alpi, e dar luogo pertanto, senza bisogno di un freddo maggiore dell'attuale, ad una quantità maggiore di nevi e di ghiacci;

3.° Che i suddetti venti caldi ed umidi, sostituiti costantemente o almeno più frequentemente ai venti di nord asciutti e freddi, dovevano graziare l'Europa, nominatamente i versanti Italiani dell'Alpi, di un clima più dolce e più eguale del clima presente (pag. 339-345).

Con analoghi ragionamenti e con certezza maggiore siamo passati a dimostrare, in base alla teorica della circolazione marina secondo il sistema di Maury, che i mari d'Italia dovevano godere di quella dolcezza veramente straordinaria di clima capace di giustificare la presenza in seno all'antico mar glaciale ai piedi delle Alpi di una fauna bisognosa di un clima temperatissimo e quasi subtropicale. Tali erano infatti le condizioni idrografiche dell'epoca, che un poderoso sistema di correnti marine calde entrar doveva dall'Atlantico nel Mediterraneo, allora immensamente più vasto, per la duplice via del mare Sahariano e del golfo di Guascogna; mentre un'altra calda corrente ci inviava l'Oceano indiano per la via del mar Rosso e dell'itsmo di Suez. Le condizioni speciali dell'antico Mediterraneo, portavano che le dette correnti calde vi entrassero come correnti inferiori; mentre le acque fredde, prodotte dalla condensazione dei vapori entro il bacino ne uscivano come correnti superiori. Queste condizioni, così somiglianti a quelle che (salve le debite proporzioni portate dalla latitudine diversa) si verificano per la baja di Baffin e il libero *mare del polo*, avevano per necessaria conseguenza di mante-

nere sul fondo abitato dello stesso Mediterraneo un clima molto più caldo dell'attuale, e molto più caldo anche in confronto del clima terrestre che dominava allora sulle terre circostanti (pag. 345-352).

Conchiudendo: l'epoca glaciale, con tutti i fenomeni che la caratterizzano, tanto nel periodo del progresso quanto in quello del regresso degli antichi ghiacciai, non fu che una conseguenza necessaria della speciale configurazione della superficie del globo, ossia della speciale distribuzione delle terre e dei mari verificatasi nell'epoca stessa a cui, stabilendosi gradatamente le attuali condizioni idrografiche, orografiche e meteorologiche, tenne dietro, con condizioni di clima necessariamente ed universalmente cambiate, l'epoca attuale.

FINE.

INDICE DELLE MATERIE

I. **Emersione della Penisola Italica durante l'êra cenozoica** . . . . *Pag.* 1
II. **Dinamica de'ghiacciai alpini** . . . . » 14
III. **Gruppi e sistemi di ghiacciai nelle Alpi italiane** . . . . » 36
IV. **Il paesaggio morenico ossia degli indizi generali dell' antico sviluppo de' ghiacciai alpini nell'Alta Italia** . . . . » 44
V. **Descrizione dei principali antichi sistemi di ghiacciai delle Alpi italiane e specialmente degli anfiteatri morenici** . . . . » 64
1. Sistema dell'antico ghiacciajo della Dora Riparia . . . . » 65
2. Sistema dell'antico ghiacciajo della Dora Baltea. . . . . » 67
3. Sistema dell'antico ghiacciajo del Ticino o del Lago Maggiore . . . . . . » 69
4. Sistema dell'antico ghiacciajo dell'Adda o del Lago di Como . . . . » 75
5. Appendice sul ghiacciajo dipendente del Lago di Lugano . . . . » 85
6. Sistema dell'antico ghiacciajo dell'Oglio o del Lago d'Iseo. . . . . » 87
7. Sistema dell'antico ghiacciajo della Sarca o del Lago di Garda . . . . . . » 90
8. Sistema dell'antico ghiacciajo della valle dell'Adige . . . . » 107
9. Sistema dell'antico ghiacciajo delle Piave . . . . » 110
10. Sistema dell'antico ghiacciajo del Tagliamento . . . . » 111
VI. **Descrizione degli antichi sistemi secondari di ghiacciai delle Alpi italiane** » 120
1. Antichi ghiacciai secondari del Piemonte. . . . . » 121
2. Antichi ghiacciai secondari della Lombardia . . . . » 122
3. Antichi ghiacciai secondari della Venezia e del Friuli. . . . . » 125
VII. **Sull'esistenza di antichi ghiacciai negli Appennini** . . . . » 127
VIII. **Carattere marino dell'anfiteatro morenico del Lago di Como** . . . . . » 131
1. Scoperte nel bacino pliocenico glaciale di Balerna . . . . » 134
2. Carattere littorale marino delle morene presso Cassina Rizzardi. . . . . . » 142
3. Risposta alle obbiezioni relative alla scoperta del terreno glaciale marino presso Cassina Rizzardi . . . . » 145
4. Alcune osservazioni sui ghiacciai circumpolari ad illustrazione del precedente paragrafo. . . . . » 160
5. La natura glaciale marina del deposito di Cassina Rizzardi è comune a tutto l'anfiteatro morenico del ramo di Como . . . . » 167
6. Catalogo dei fossili marini dell'epoca glaciale rinvenuti nelle morene di fondo alla base dell'anfiteatro dell'antico ghiacciajo del Lago di Como . . . . . . » 170
7. Argille e sabbie alla base dell'anfiteatro glaciale-marino del Lago di Como . » 173
8. Dell'origine della Groana e in generale dell'origine glaciale-marina dei terrazzi premorenici dell'Alta Italia. » 177
IX. **Carattere marino dell'anfiteatro morenico del Lago Maggiore** . . . . . » 187
X. **Carattere marino dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea**. . . . . . » 192
XI. **Sull'origine dei laghi lombardi** . . . . » 206
1. Rapporti tra i laghi e gli anfiteatri morenici . . . . » ivi
2. Ipotesi sull'origine dei laghi lombardi . . . . » 208
3. Teorica della formazione dei laghi lombardi in base ad uno studio sull'origine e sulle condizioni dei *fjords* anteriormente e posteriormente all'invasione degli antichi ghiacchiai. . . . . » 221

4. Ragione dell'esistenza e della distribuzione dei *fjords* nell'epoca attuale . . *Pag.* 238
5. Laghi intermorenici frontali e laterali di sbarramento . . . . » 237
XII. **Antichi laghi di sbarramento dell'epoca glaciale e loro depositi** . . . » 239
1. Antichi laghi di sbarramento sulle sponde del Lago di Como . . . . » ivi
2. Antichi laghi laterali di sbarramento appartenenti al sistema del Lago d'Iseo. » 242
3. Antico lago glaciale di Val-Adrara o deposito di Pianico. . . . . » 243
4. Antichi laghi glaciali della Val-del-Foresto e della Val-Adrara . . . . . » 246
5. Bacino lignitico di Leffe . . . . » 247
XIII. **Terreni equivalenti ossia contemporanei dei terreni glaciali in Italia** . » 253
1. Ossario della Val-d'Arno superiore . . . . » ivi
2. Alluvioni antiche dell'epoca glaciale. . . . . » 257
3. Caverne ossifere dell'epoca glaciale . . . . » 258
XIV. **Unità dell'epoca glaciale** . . . . » 265
1. Come debbasi intendere la pluralità dei periodi glaciali . . . . » ivi
2. Periodo di massimo avanzamento . . . . » 268
3. Periodo degli anfiteatri morenici . . . . » 273
XV. **Periodo dei terrazzi in corrispondenza col regresso degli antichi ghiacciai** » 275
1. Generalità sui fenomeni che caratterizzano il periodo dei terrazzi. . . . . » ivi
2. Sollevamento generale della Penisola Italica posteriormente al periodo glaciale . . . . » 281
3. Depressione postglaciale delle provincie venete. . . . . » 282
4. Terrazzamento delle alluvioni e dei depositi glaciali posteriormente all'epoca glaciale . . . . » 288
XVI. **Climatologia dell'epoca glaciale**. . . . . » 294
1. Si pone nei giusti termini la questione del clima glaciale . . . . » ivi
2. Distinzione tra clima terrestre e clima marino. . . . . » 301
3. Mitezza del clima terrestre nell'epoca glaciale segnatamente in Italia . . . » 302
4. Straordinaria mitezza del clima marino nell'epoca glaciale segnatamente in Italia. » 312
5. Cenno sopra alcune ipotesi nelle quali si considera il freddo come causa dell'epoca glaciale . . . . » 315
6. L'epoca glaciale fu un'epoca d'umidità, ossia di pioggie e di nevi . . . . » 317
7. Il periodo dei terrazzi ossia del regresso degli antichi ghiacciai fu un periodo di siccità ossia di magre . . . . » 320
XVII. **Cause dell'epoca glaciale considerata come un doppio periodo di umidità antecedente e di siccità conseguente** . . . . » 328
1. Come possa variare la quantità assoluta dei vapori atmosferici . . . . . . » ivi
2. Esistenza d'un mare Sahariano e sua influenza sulla climatologia dell'epoca glaciale. . . . . » 331
3. Esistenza d'altri mari oltre il Sahariano nell'epoca glaciale. . . . . . . » 336
XVIII. **Sulle condizioni climatologiche speciali dell'Italia nell'epoca glaciale**. » 339
1. Il clima terrestre spiegato coll' applicazione della teorica della circolazione atmosferica secondo il sistema di Maury . . . . » ivi
2. Il clima marino spiegato colla teoria della circolazione marina secondo il sistema di Maury. . . . . » 345
Riepilogo e Conclusione . . . . » 353

INDICE DELLE FIGURE

Figura — Pagina

1. La Mer de Glâce a Chamouny 16
2. Tavola del ghiacciajo di Roseg nell'Engadina 17
3. Topografia della *Mer de Glâce* ivi
4. Morena glaciale del ghiacciajo dell'Aar . 18
5. Porta del ghiacciajo di Zermatt 19
6. Morena frontale del ghiacciajo di Visch . 20
7. Vano o crepaccio laterale d'un ghiacciajo. 22
8. Topografia del ghiacciajo della Pasterze nella valle dell'Oetz nell'alto Tirolo . 24
9. Ciottolo glaciale striato 25
10. Gruppo di morene della Pasterze . . . 26
11. Sezione longitudinale d'un ghiacciajo in regresso e delle rispettive morene frontali. 28
12. Sezione trasversale di un ghiacciaio in regresso e delle rispettive morene laterali abbandonate. ivi
13. Breccia prodotta da una eruzione torrenziale nella morena frontale del ghiacciajo di Macugnaga. 30
14. Carta del ghiacciajo di Gurglerthal . . 31
15. Sezione trasversale sul lato sinistro del ghiacciajo di Roseg nel 1862 34
16. Profilo dell'Ortler-Spitz 42
17. Morena laterale sui monti di Gavirate presso Varese. 49
18. Sezione della gran morena insinuata a gradini nel seno di Tassano sul lago d'Iseo 51
19. Massi erratici della morena della Selva presso Clusone 53
20. Masso erratico dell'Alpe di Pravolta sopra Bellagio (Lago di Como). 54
21. Pietra di Lentina sopra Blevio (Lago di Como). ivi
22. Pietra Pendula sopra Torno (Lago di Como) 55
23. Masso erratico di Fraschirolo presso Varese 56
24. Il Cavallaccio presso Angera (Lago Maggiore) 57

Figura — Pagina

25. Morena d'ostacolo sul San Quirico veduto da Ipsa 57
26. Profilo della morena d'ostacolo sul S. Quirico 58
27. Ciottolo eroso e striato nella puddinga sotto il Castello Baradello presso Camerlata 61
28. Schizzo dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea. 68
29. Schizzo della morena d'ostacolo sul M. Canto preso dalla Madonna del Bosco sulla destra dell'Adda. 82
30. Pozzo glaciale di trapanamento sopra Vezzano 94
31. Sezione ideale del pozzo glaciale sopra Vezzano 96
32. Spaccato della sponda settentrionale del lago di Garda. 99
33. Catena di colli arrotondati sopra Nago nella valle di Mori 100
34. Spaccato geologico della penisola di Sirmione 105
35. Anfiteatro morenico dell'antico ghiacciajo dell'Adige 109
36. Imbocco nord della Chiusa di Cavazzo, arrotondato da un ramo del ghiacciajo del Tagliamento 114
37. Chiusa del Tagliamento sotto Venzone . . 115
38. Interno dell'anfiteatro morenico del Tagliamento visto dalle colline di Pinzano sulla sinistra del fiume 116
39. Masso striato glaciale nelle argille marine plioceniche alle Fornaci di Balerna 138
40. Contorsioni nell'argilla pliocenica glaciale alle fornaci di Balerna 139
41. Ghiacciajo in fondo al fiord di Kangerdlugssuak 162
42. Profilo di un ghiacciajo che sbocca in un *fiord* profondo. 163
43. Fronte di un ghiacciajo in un *fiord* di Groenlandia durante l'estate 164

Figura — Pagina

44. Profilo di un ghiacciajo del Jökesfiord . 165
45. Profilo del ghiacciajo del *fiord* di Pakitosk. 166
46. Fiord incrociato da un'antica morena frontale sottomarina 167
47. Spaccato sulla linea della ferrovia di Camerlata al tunnel sotto Montolimpino 174
48. Tratto di trincea nella valle sotto Camerlata 175
49. Spaccato dell'anfiteatro morenico del lago di Como da N. O. e S. E. 176
50. Schizzo di una carta dell'altipiano della Groana e dell'anfiteatro morenico del lago di Como 178
51. Profilo della pianura, dell'altipiano della Groana e dell'anfiteatro morenico del Lago di Como da sud a nord 179
52. Sezione del lago Sandvendvand (Odda, Hardanger in Norvegia) 181
53. Profilo di terrazzo morenico frontale del Lago d'Orta 188
54. Profilo geologico della galleria di Vergiate (Ferrovia Gallarate-Sesto Calende. 189
55. Schizzo geologico dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea 194
56. Sezione geologica della Borra grande. . 197
57. Spaccato naturale della base dell'anfiteatro morenico tra Mecenasco e Candia . 200
58. Spaccato geologico tecnico-pratico dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea, preso sul lato orientale 204

Figura — Pagina

59. Laghi alpini in rapporto ai rispettivi anfiteatri morenici 207
60. Masso erratico di schisto arrotondato e striato presso Longone (Brianza). . . 211
61. Sezione tra Gavirate e Brembate-di-sotto. 213
62. Veduta dell'Adda fra Trezzo e Bottanuco. 214
63. Sezione attraverso l'Adda fra Trezzo e Bottanuco ivi
64. Sezione tra le Conche di Paderno e il Monterobbio 213
65. Sezione longitudinale del Lago di Lugano al ponte di Melide 223
66. Sezioni trasversali del Lago di Lugano (ramo di Porlezza) nei due punti di massima profondità ivi
67. Sezione longitudinale del Lago pel ramo di Lecco 224
68. Sezione trasversale dei due rami del Lago di Como tra Cadenabbia e Fiume-Latte. 225
69. Schema della costituzione geologica della valle del Po 228
70. Carta dei ghiacciai della Gurglerthal. . 243
71. Confluente della valle di Gandino al Serio 248
72. Il buco dell'Orso sopra Laglio 261
» Alternanza di terreno glaciale e di terreno lacustre per semplice effetto dell'avanzamento di un ghiacciajo. 267
73. Terrazzi dell'Adda a Cassano 278
74. Terrazzi del Brembo a Ponte S. Pietro . 279
75. Terrazzi dell'Oglio a Palazzolo ivi
76. Terrazzi dell'Oglio visti da Capriolo . . 291

SPIEGAZIONE DELLE TAVOLE

Tav. I. — **Carta geografica dell'Alta Italia nell'epoca pliocenica.** — È destinata principalmente ad indicare l'approssimativa estensione dell'Adriatico e del Tirreno tra la fine del periodo pliocenico e il principio del glaciale. Il Tirreno si estende ancora sopra la massima parte della Toscana, e l'Adriatico ricopre tutta la valle del Po fino alle Alpi. Le valli alpine e prealpine figurano come altrettanti *fjords*. La porzione punteggiata tra Venezia, Trieste e la Dalmazia, mentre è ora ricoperta dal mare, si trovava allora all'asciutto, indizio certo dell'abbassamento postglaciale delle regioni ad est del lago di Garda.

» II. — **Sistema glaciale del lago d'Iseo.** — Sulla tavola stessa si trovano tutte le indicazioni necessarie a facilitarne l'intelligenza.

» III. — Fig. 1. **Ghiacciajo della Forbicetta.** — Fig. 2. **Ghiacciai del Monte Cristallo.** — Queste figure servono a dare un'idea del modo con cui si formano i ghiacciai col raccogliersi delle nevi nelle depressioni, ossia nei bacini ai piedi delle supreme vette sopra la linea delle nevi perpetue. Si vede inoltre come dai fianchi stessi delle vette, troppo scoscesi perchè le nevi vi si possano arrestare, devono facilmente staccarsi i massi e le frane, destinate a formare e ad alimentare le morene.

» IV. — **Ghiacciajo del Forno sopra S. Catterina in Val-Furva.** — Vero tipo dei così detti *ghiacciai di primo ordine*, o veri ghiacciai a lungo corso.

» V. — **Ghiacciajo della Marmolade nell'alto Cordevole.** — Tipo dei così detti *ghiacciai di secondo ordine*, ossia *vedrette*.

» VI — **Morena laterale che riveste il Montalbano sopra Lecco.** — L'antico ghiacciajo del lago di Como che, dopo il biforcamento alla punta di Bellaggio, percorreva il ramo di Lecco, si dilatava sul lato sinistro, ed occupando l'attuale *territorio di Lecco*, si arrestava contro le falde del S. Martino e del Resegone, deponendovi la sua grande morena sinistra, ora per la massima parte demolita dalle correnti. Il pezzo meglio conservato di essa morena è quello che riveste fin verso la sommità il Montalbano, che sorge isolato tra il S. Martino e il Resegone, come lo indica sulla tavola quella zona riccamente coltivata, da cui emerge affatto nuda la vetta del monte.

» VII. — **Morena laterale tra il ponte di Lecco e Malgrate.** — La morena destra, corrispondente alla sinistra or ora descritta che riveste il Montalbano, è conservata nella sua integrità tra il ponte di Lecco e Malgrate, e si vede sulla tavola (lato sinistro) formare in riva al lago alle falde del monte Baro un terrazzo boscoso di meravigliosa regolarità, sormontato da un secondo non meno regolare. Si vede al tempo stesso come la Val-Ritorta, che vaneggia dietro lo scoglio di Paré (lato destro della tavola) fosse sbarrata dall'antico ghiacciajo, e dovesse convertirsi in lago di cui si osservano benissimo i depositi nei dintorni di Valmadrera, e di cui non è che residuo il doppio lago di Sala e d'Annone.

» VIII. — **Masso erratico di serpentino sopra Civate.** — Questo masso è minutamente descritto a pag. 53.

Tav. IX. — **Catena di colli arrotondati tra Montolimpino e il Castello Baradello.** — Como è fabbricata alla base di questi colli, i quali formano l'estremità orientale della catena di Montolimpino, composta di arenarie, marne e conglomerati riferibili al miocene. Il loro arrotondamento si deve al lato destro dell'antico ghiacciajo del lago di Como che sboccava appena a mezzodì della torre del Baradello, dove si dilatava per formare l'anfiteatro, come si vede nella Tav. XIII.

» X. — **Anfiteatro morenico della Dora Riparia.** — L'anfiteatro è veduto dall'interno, cioè guardando dalla valle verso la pianura. È minutamente descritto a pag. 66.

» XI. — **Anfiteatro morenico della Dora Baltea.** — Vale quello che si è detto per la tavola precedente. — L'anfiteatro è descritto a pag. 67 e 68.

» XII. — **Carta dell'anfiteatro morenico del lago Maggiore.** — Per mezzo della punteggiatura è segnato in massa il terreno morenico che costituiva questo enorme anfiteatro, come si trova ora dopo i tagli e le solcature profonde prodottivi dalle acque pluviali e dalle correnti. Tra le specialità più degne di nota sono da rimarcarsi l'anfiteatro del lago d'Orta quasi indipendente, formato da un ramo dell' antico ghiacciajo del lago Maggiore; la morena d'ostacolo che riveste a nord il monte S. Quirico, e il sistema delle morene insinuate nella regione tra il lago Maggiore e quello di Varese.

» XIII. — **Anfiteatro morenico dell'antico ghiacciajo del lago di Como.** — In questa veduta è disegnata soltanto la porzione occidentale del grande anfiteatro, visto dall'interno, in corrispondenza col ramo occidentale del lago di Como. Il triplice arco di colline moreniche si presenta sull'orizzonte tra le montagne ad est di Como e la catena di Montolimpino ad est. Alla cerchia di mezzo appartengono le località nelle quali le morene trovaronsi sparse di conchiglie marine in copia stragrande. La triplice vetta del M. Goi, che dovette essere sormontata dal ghiacciajo, presenta un bellissimo esempio di rocce arrotondate.

» XIV. — **Carta dell'anfiteatro morenico del lago di Como.** — Comprende tutto l'anfiteatro dalla sponda sinistra dell'Adda alla destra del torrente Bozzento. È eseguita collo stesso sistema della tavola XII. Il terreno morenico vi è segnato in massa, mediante punteggiatura, anche pel motivo della grande irregolarità che presenta l'anfiteatro, stante che esso terreno morenico è per la massima parte disperso e insinuato tra i monti e i colli rocciosi (colli di Brianza) tra Como e l'Adda, dove si arrestava il ghiacciajo. Le diverse prominenze arcuate della fronte dell'anfiteatro corrispondono ai due sbocchi primari del ghiacciajo dai due rami del lago ed agli intermedii per la Val-Ritorta e la Valassina.

» XV. — **Anfiteatro morenico del ramo orientale del ghiacciajo del lago d'Iseo.** — Questa tavola, che porta per errore di stampa il n.° XIV, presenta uno schizzo dell'anfiteatro corrispondente al ramo orientale dell'antico ghiacciajo del lago d'Iseo che sboccava tra il Colle d'Adro e le montagne sopra Iseo. È visto, come si suol dire, a volo d'uccello. Benchè relativamente piccolo, è il più completo e il più tipico di tutti gli anfiteatri morenici dell'Alta Italia.

» XVI. — **Carta dell' anfiteatro morenico del lago di Garda.** — Il terreno morenico è distinto col sistema della punteggiatura come nelle due tavole XII e XIV; ma non in massa, mentre le morene componenti questo colossale anfiteatro sono a cerchi così liberi e spiccati, che si è potuto disegnarli staccati, come era conveniente per dar un'idea più chiara della struttura a morene concentriche dei grandi anfiteatri. Si osserverà quanto sia precisa la distinzione di un anfiteatro esterno semplice, da un anfiteatro interno molto composto.

» XVII. — **Veduta dell' estremità est dell' anfiteatro morenico del lago di Garda.** — È presa precisamente nel punto in cui dalla appendice più meridionale del monte Baldo (a sinistra sulla tavola) si stacca sopra il paese di Garda, in forma di terrazzo regolare a parecchi gradini, il circo dell'anfiteatro.

» XVIII. — **Carta dell'anfiteatro morenico del Tagliamento.** — Vale quello che si è detto per la tavola XVI

Tav. XIX. — **Colli arrotondati sopra Clusone.** — Difficilmente si troverebbe altrove un esempio più parlante di quell' azione esercitata sul fondo e sui fianchi rocciosi delle valli dagli antichi ghiacciai onde risultarono le così dette *roches moutonnées* (rocce arrotondate). Per ammetterlo basterà il sapere che quella catena di colli, così regolarmente arrotondati e quasi lisci, è composta tutta della stessa roccia dolomitica, la quale compone le creste sovrastanti così aspre e taglienti.

» XX. — **Terreno morenico con fossili marini presso Cassina Rizzardi.** — Questa tavola, disegnata esattamente dal vero, mostra come il terreno di Cassina Rizzardi abbia una struttura tutto morenica, e si leghi immediatamente alla morena perfettamente caratterizzata sulla quale sorge di faccia il paese di Fino.

» XXI. — **Cava nel terreno glaciale al ponte di Lecco sotto il M. Baro.** — Questa cava appartiene alla morena laterale disegnata nella tavola VII. Il terreno perfettamente morenico mostra molto chiaro quella stratificazione abbastanza regolare che caratterizza le morene di fondo, specialmente sottomarine.

» XXII. — **Anfiteatro morenico del Tagliamento guardato dall' esterno.** — Da un profilo disegnato dal prof. Taramelli.

CLUSONE
La Selva
Serio F.
Pizzo Formico
Cerete
Borlezza F.
Oglio F.
Romana F.
Gandino
Leffe
Pianico
Castro
Lago Spinone
Valle Cavallina
Zone
Marone
Vigolo
Sale
Cherio F.
Entratico
Trescorre
Selva
Foresto
Adrara
Tavernola
Villungo
Tassano
Sarnico
Lago d'Iseo
Solarolo
Montecchio
Credaro
Paratico
Iseo
Calepio
Colle d'Adro
M. Iseo
Tagliuno
Capriolo
Adro
Oglio F.
Erbusco
Colline della Francia Corta
Monte Orfano

Sistema glaciale del Lago d'Iseo.

Ghiacciai antichi

Alluvione fluvio-glaciale.

Morene.

Laghi glaciali antichi.

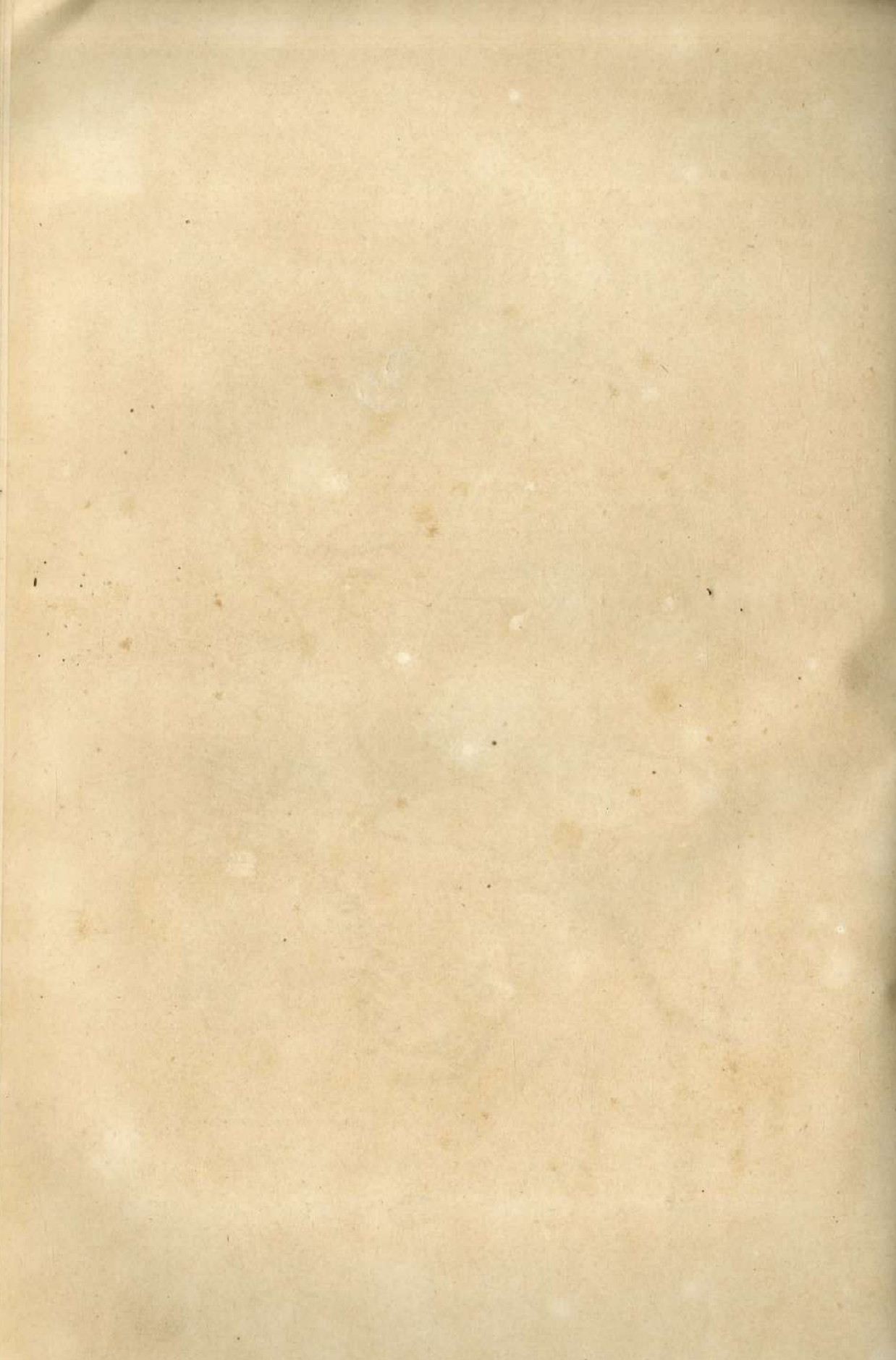
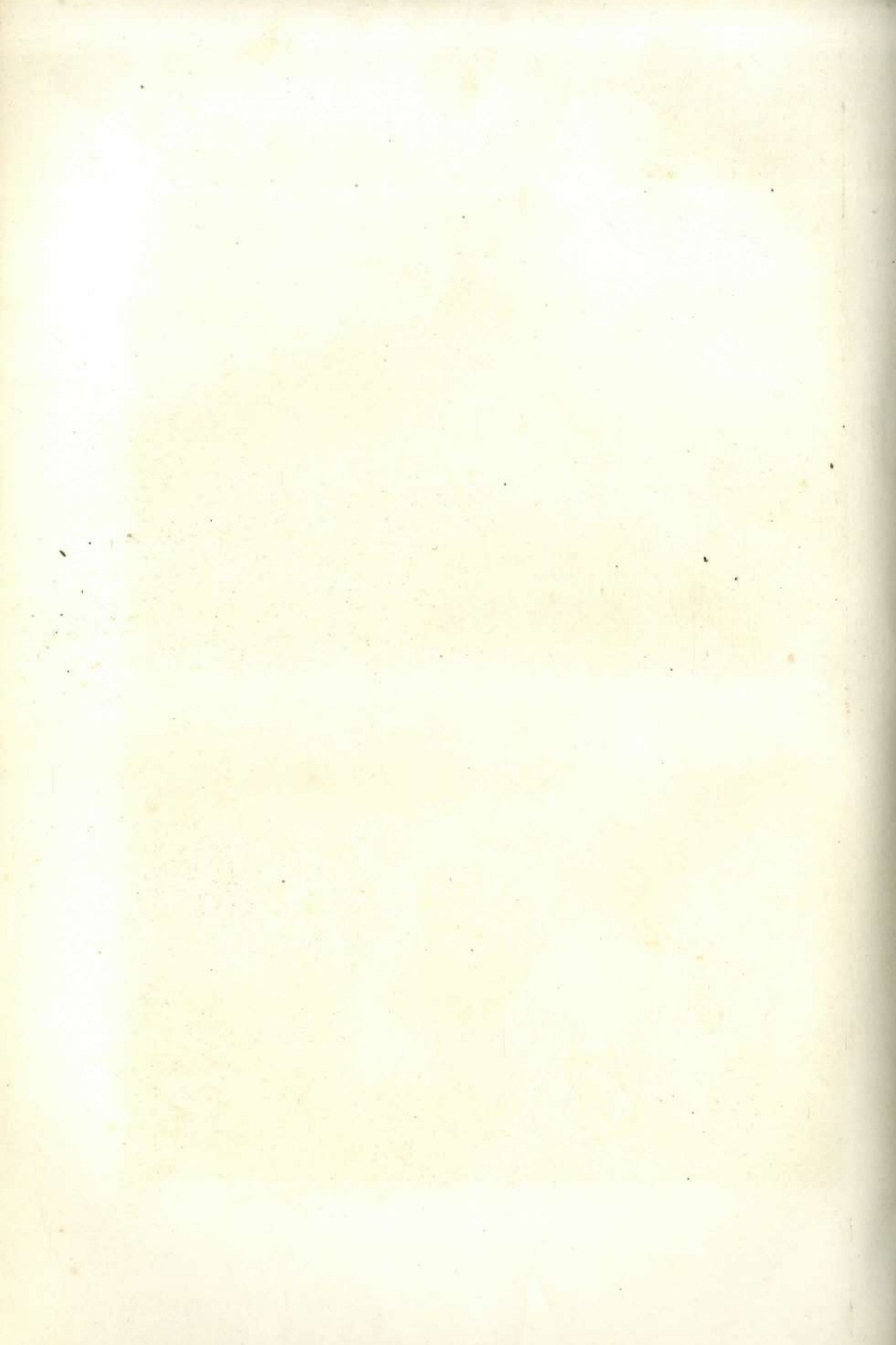
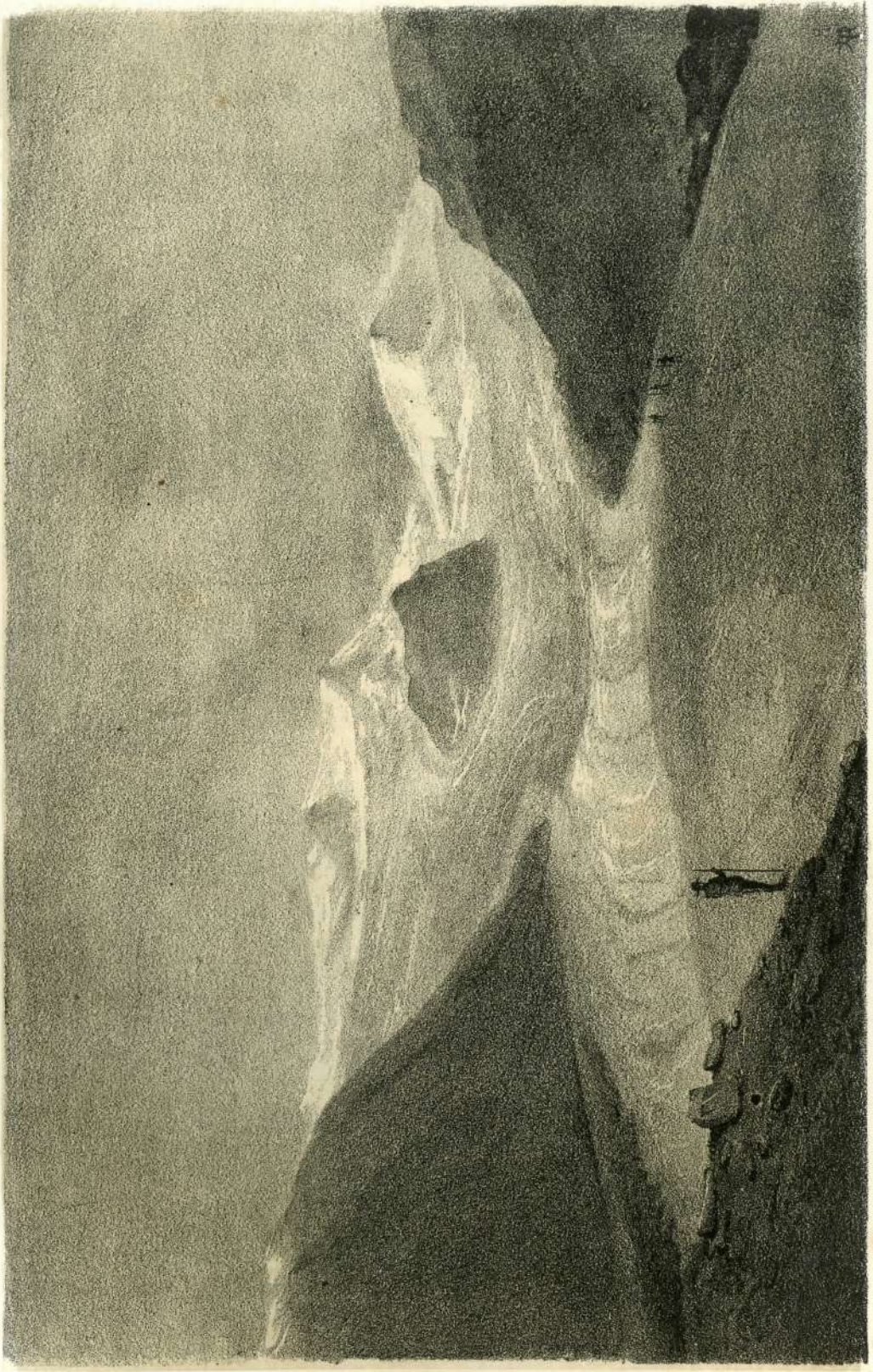
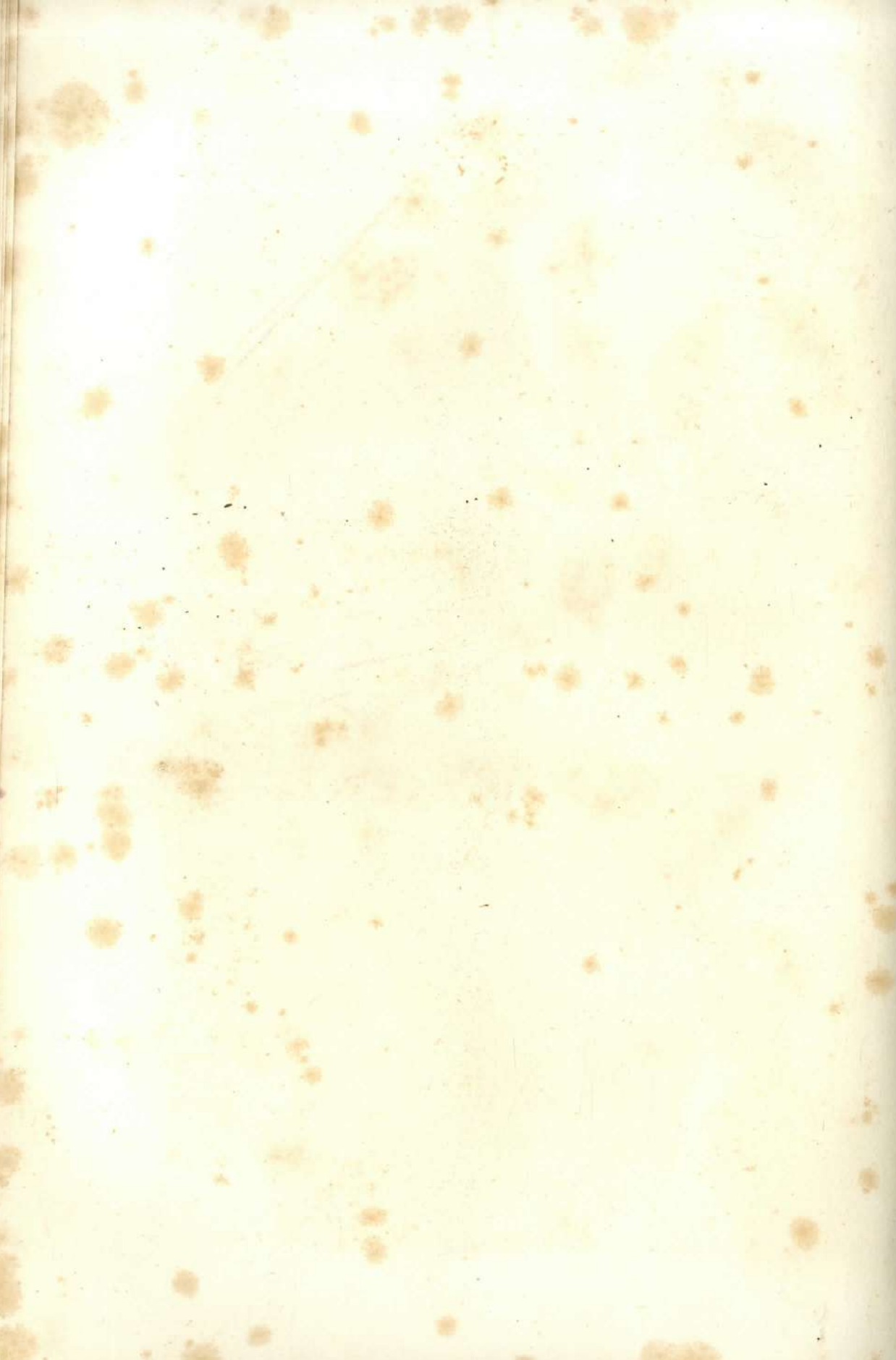
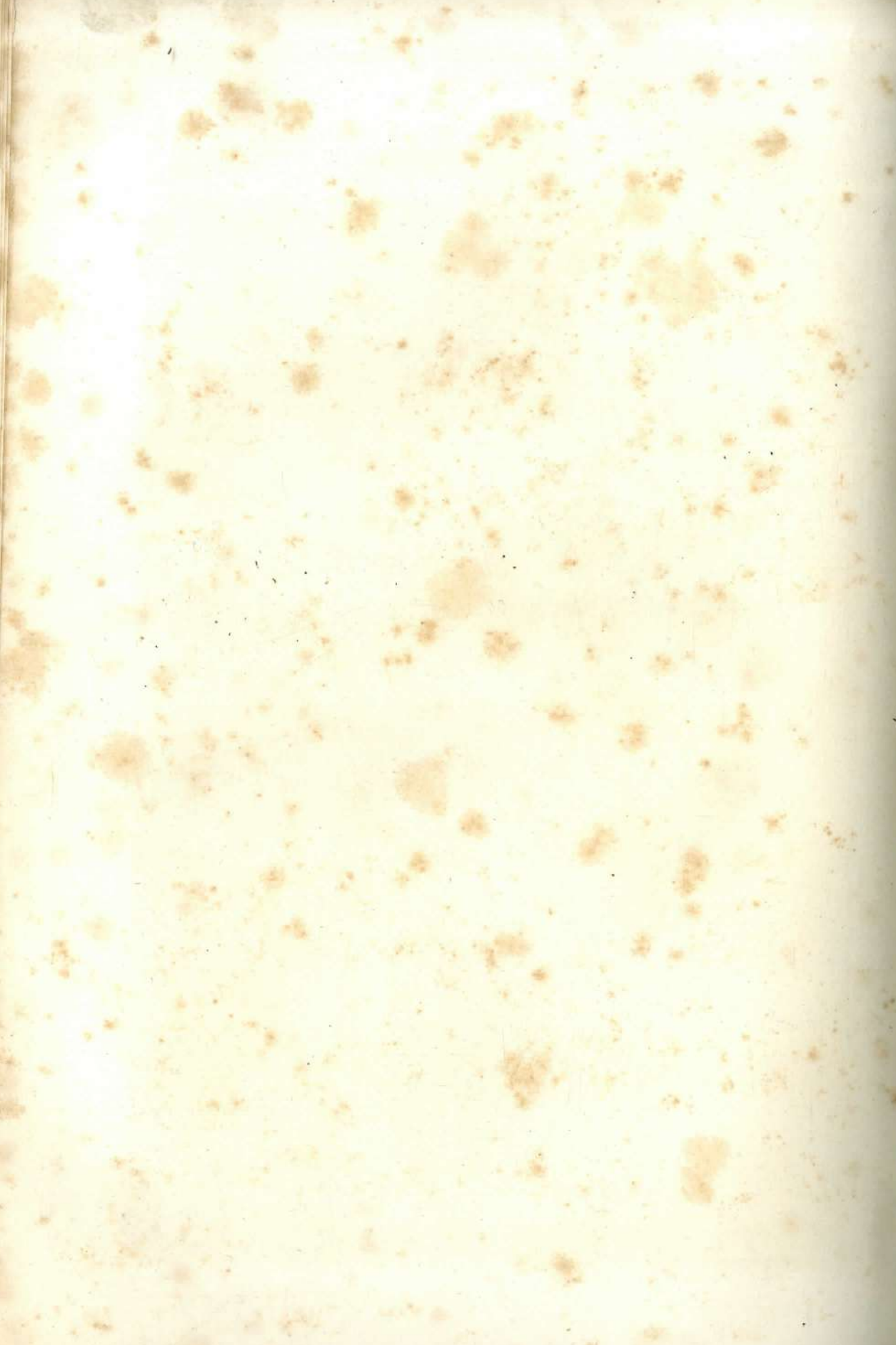
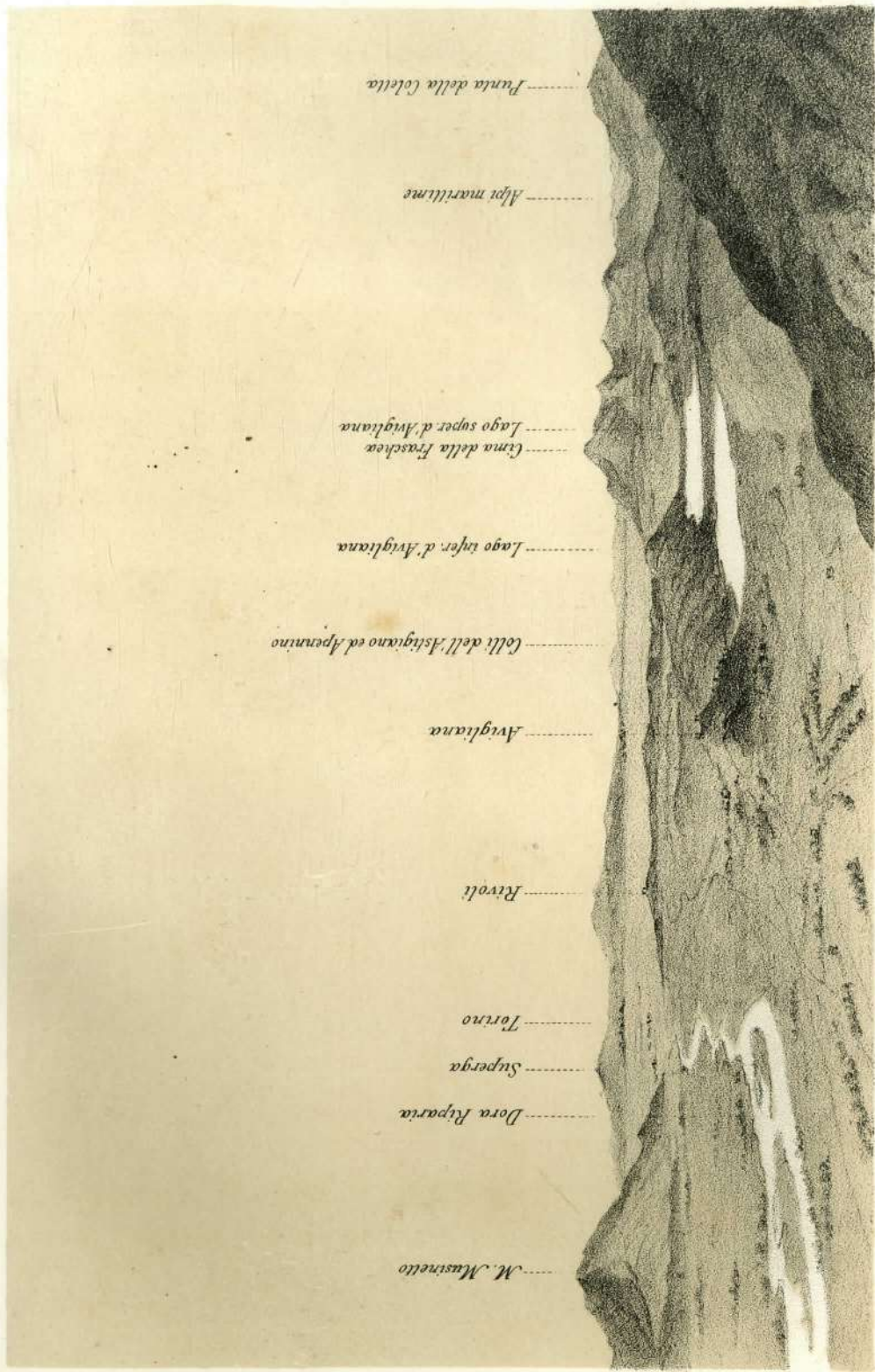
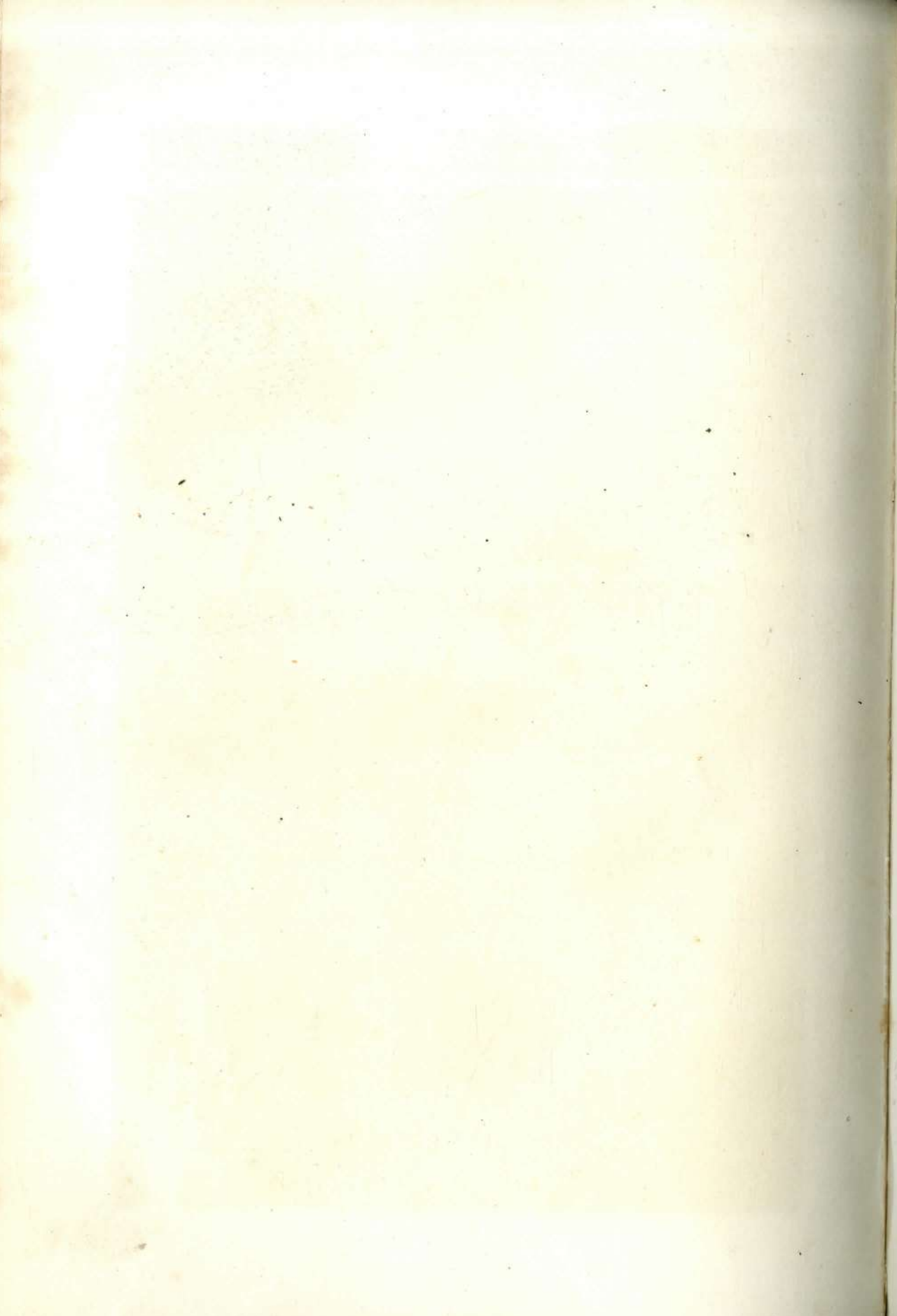
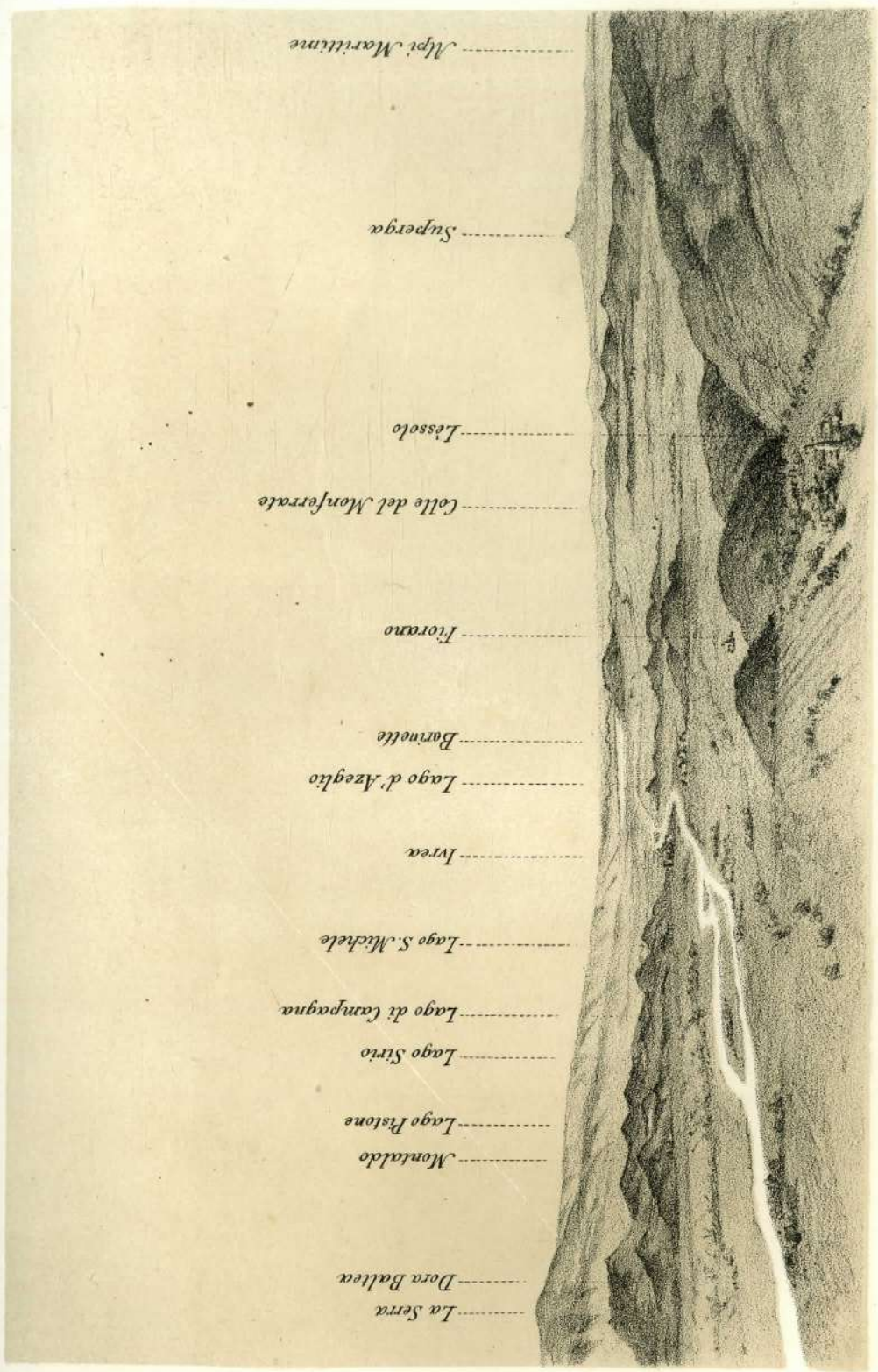



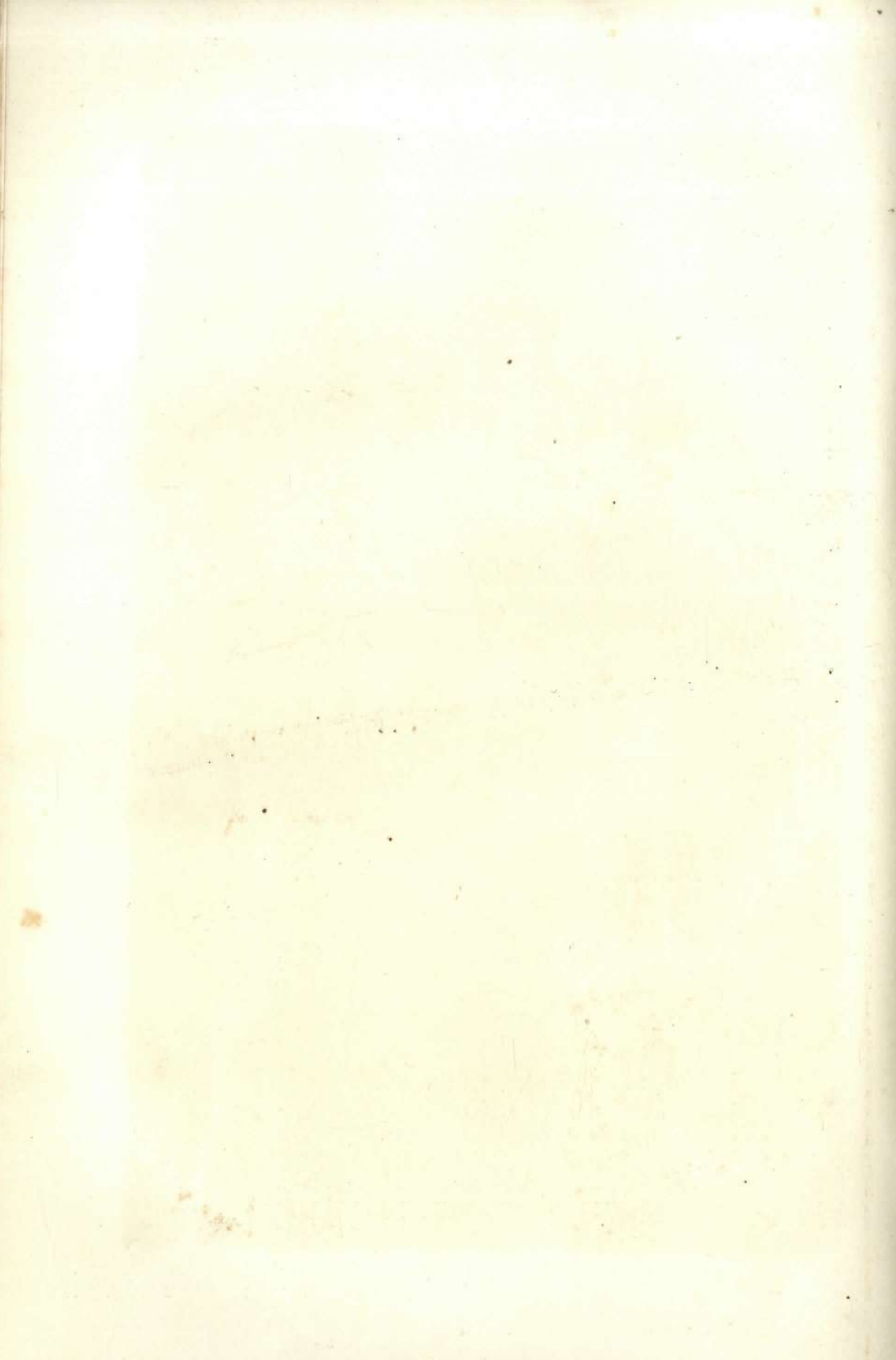
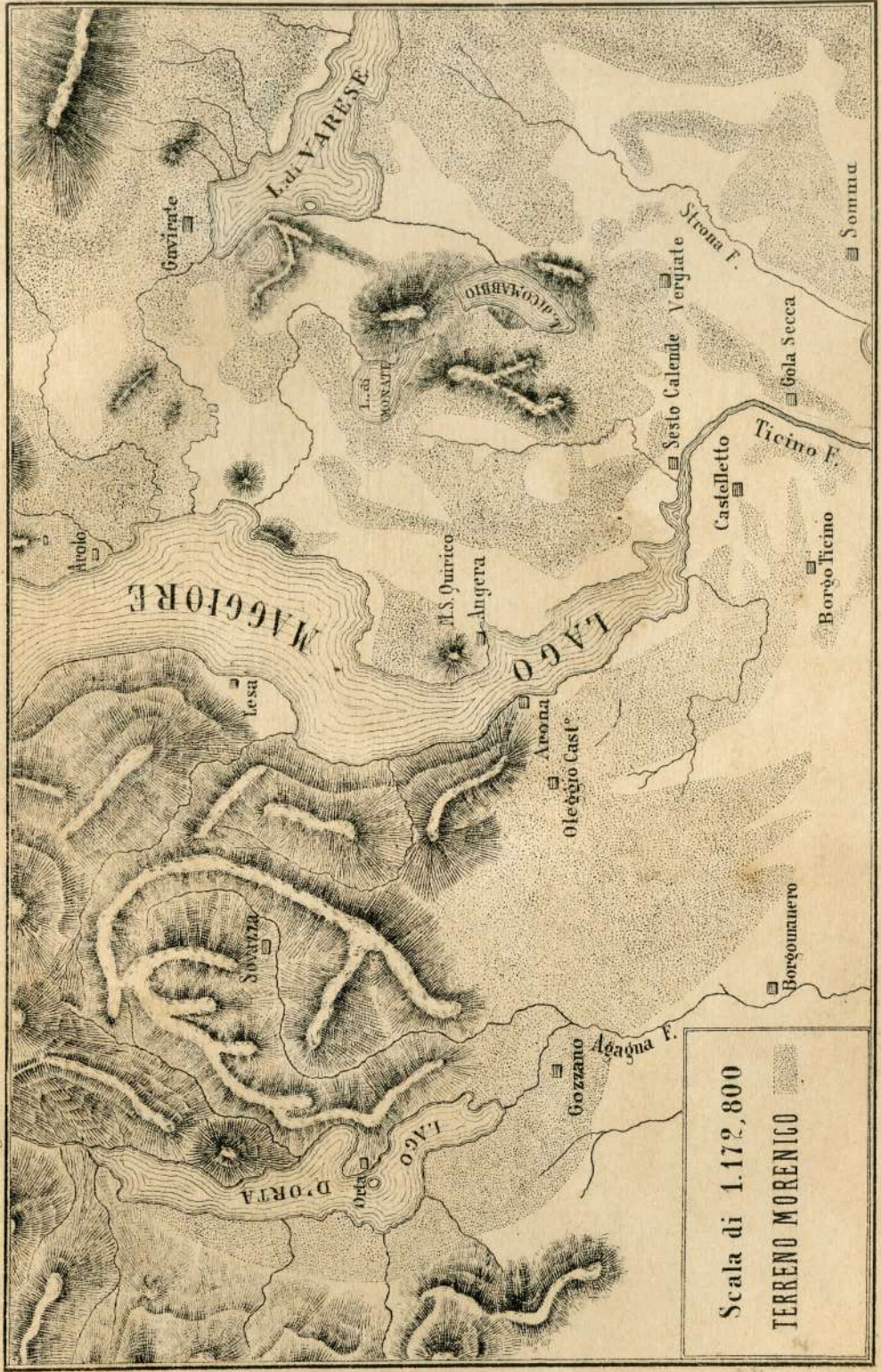
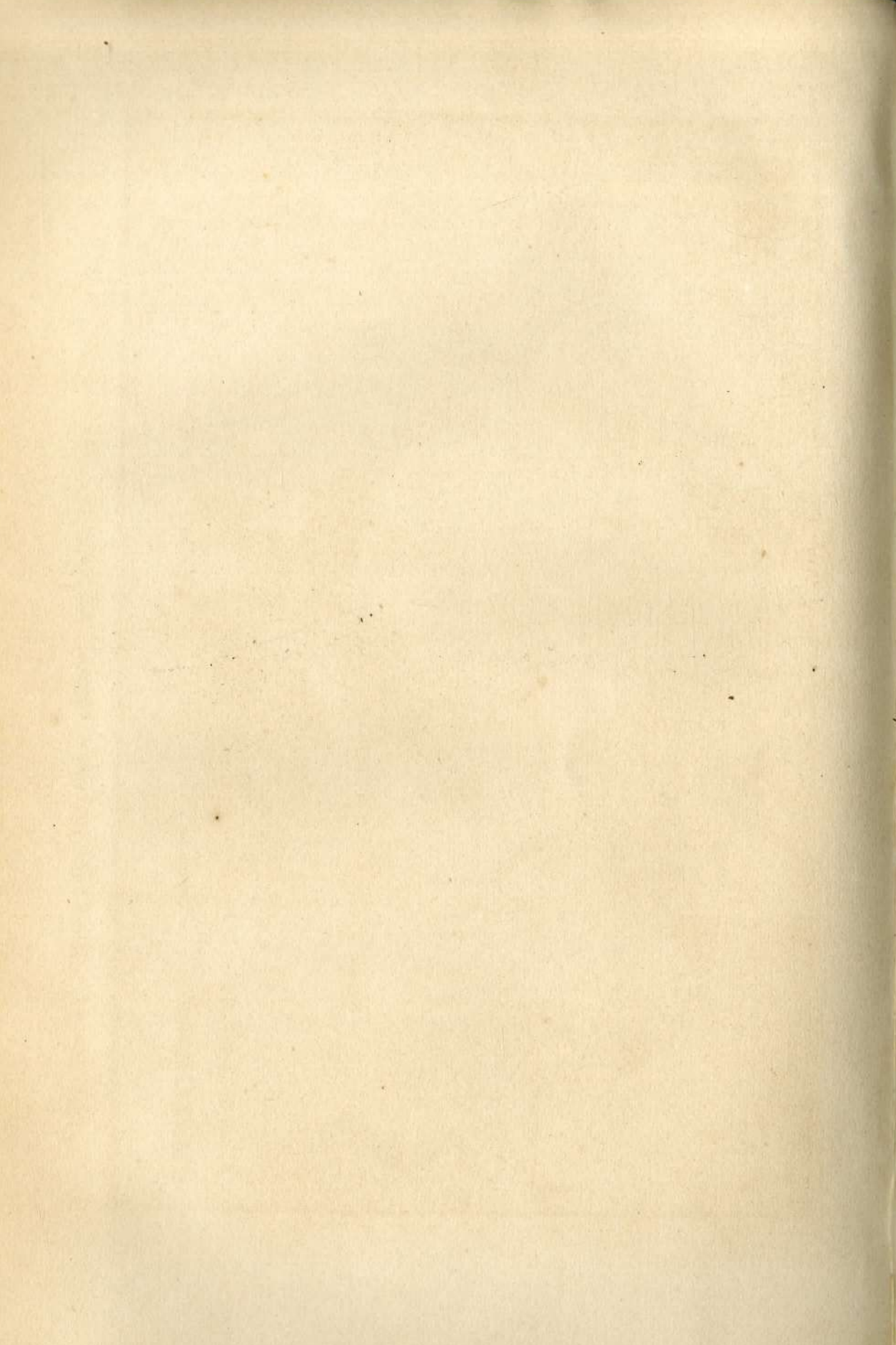
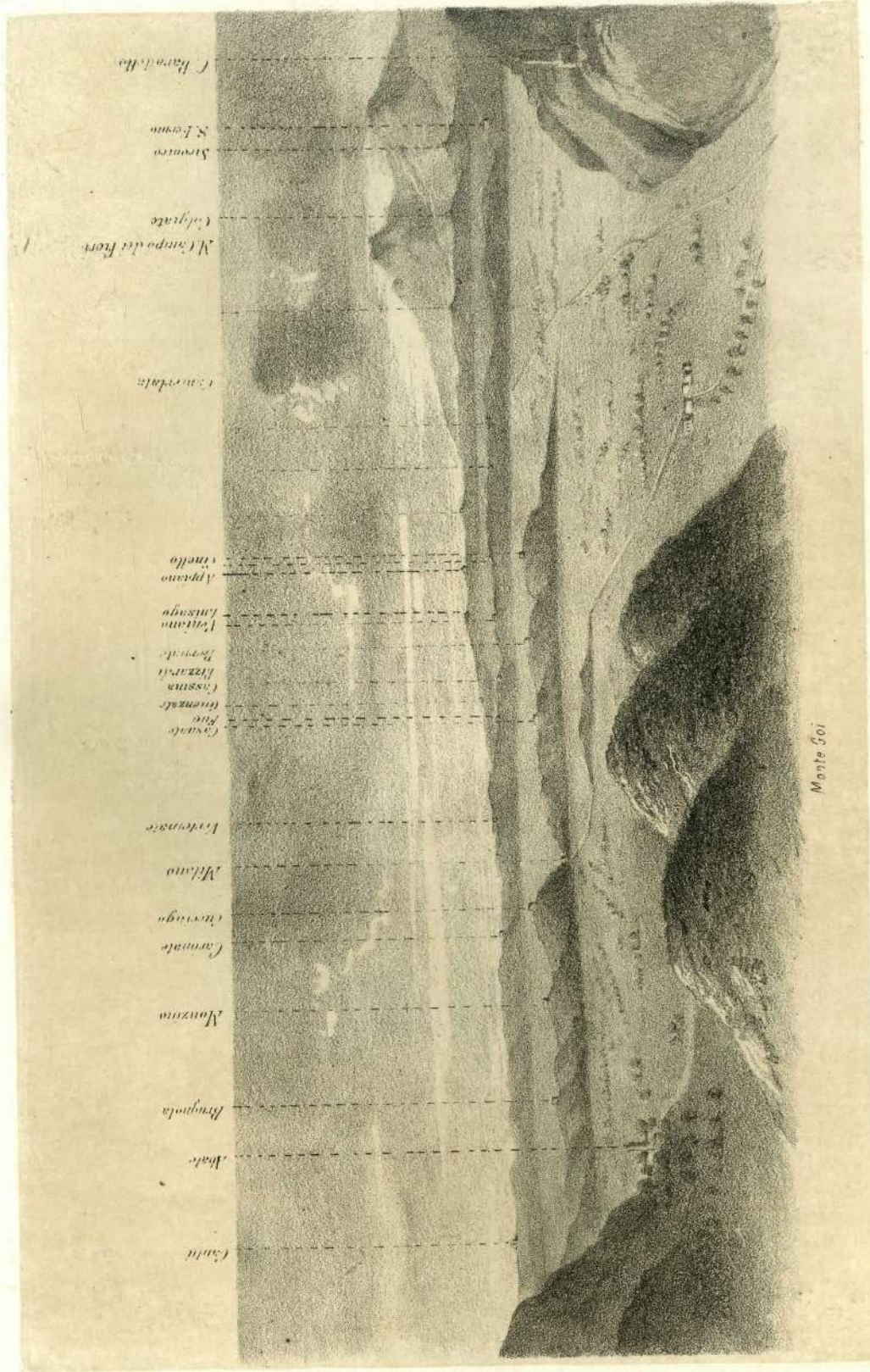
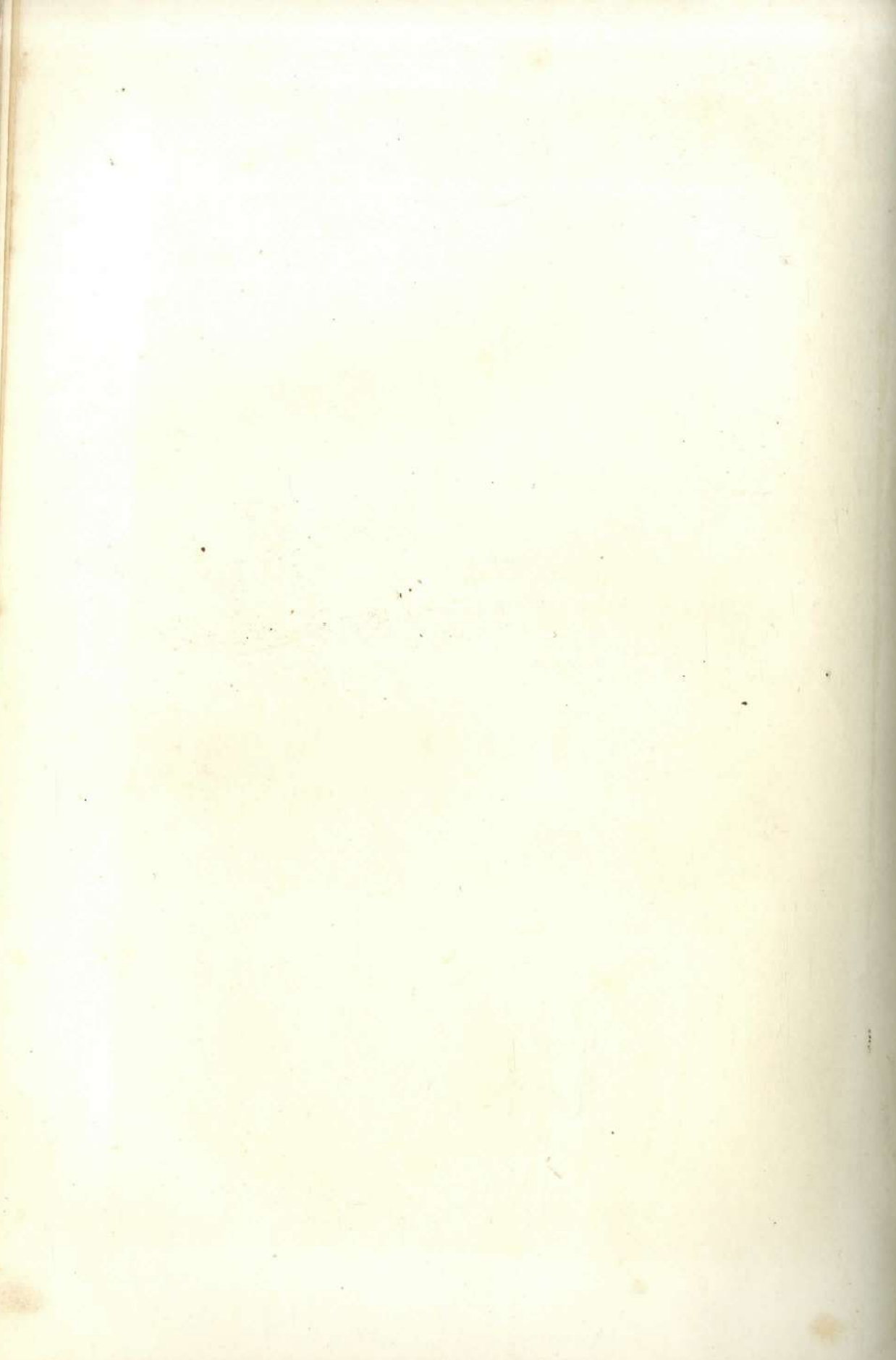
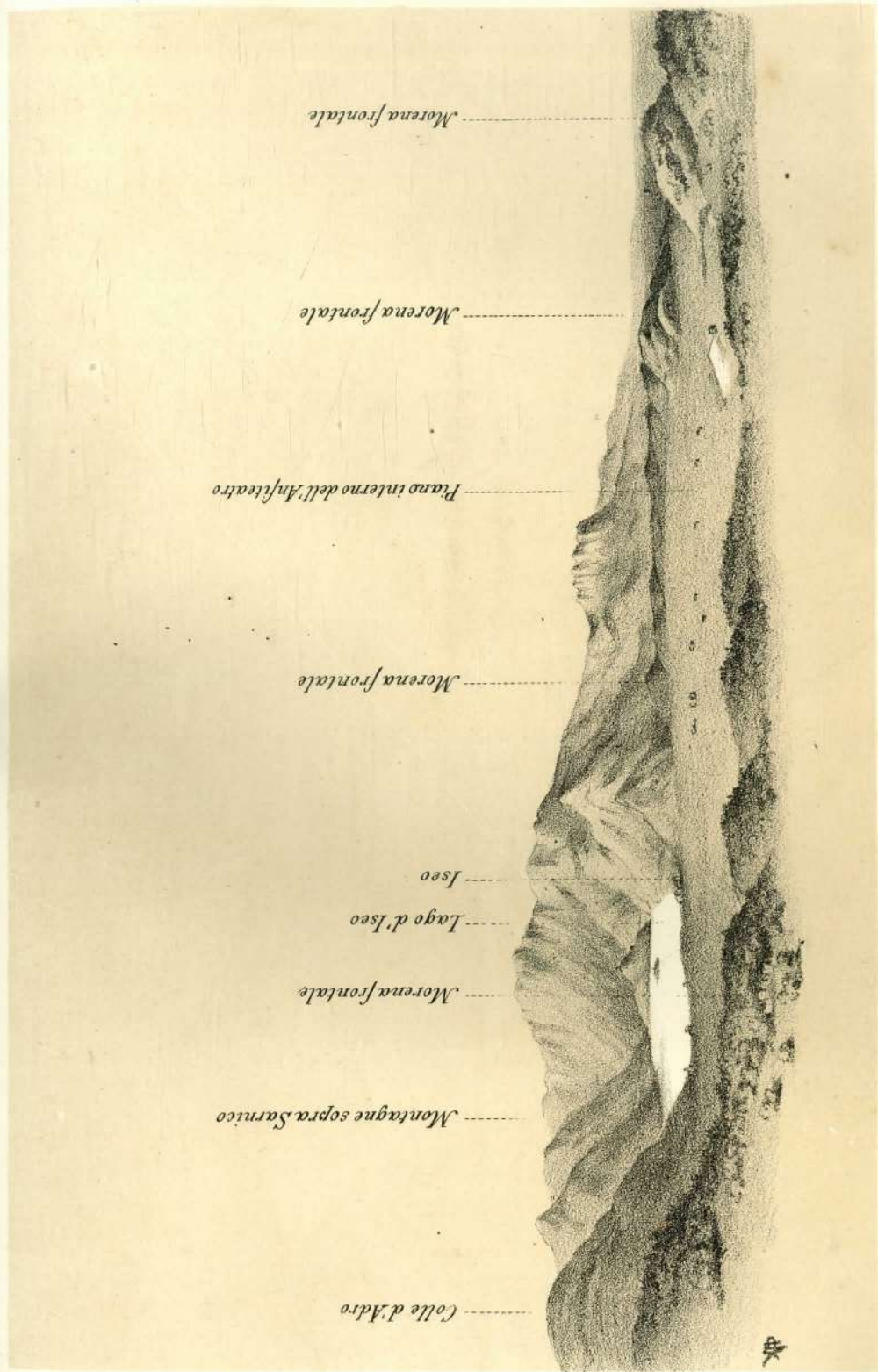
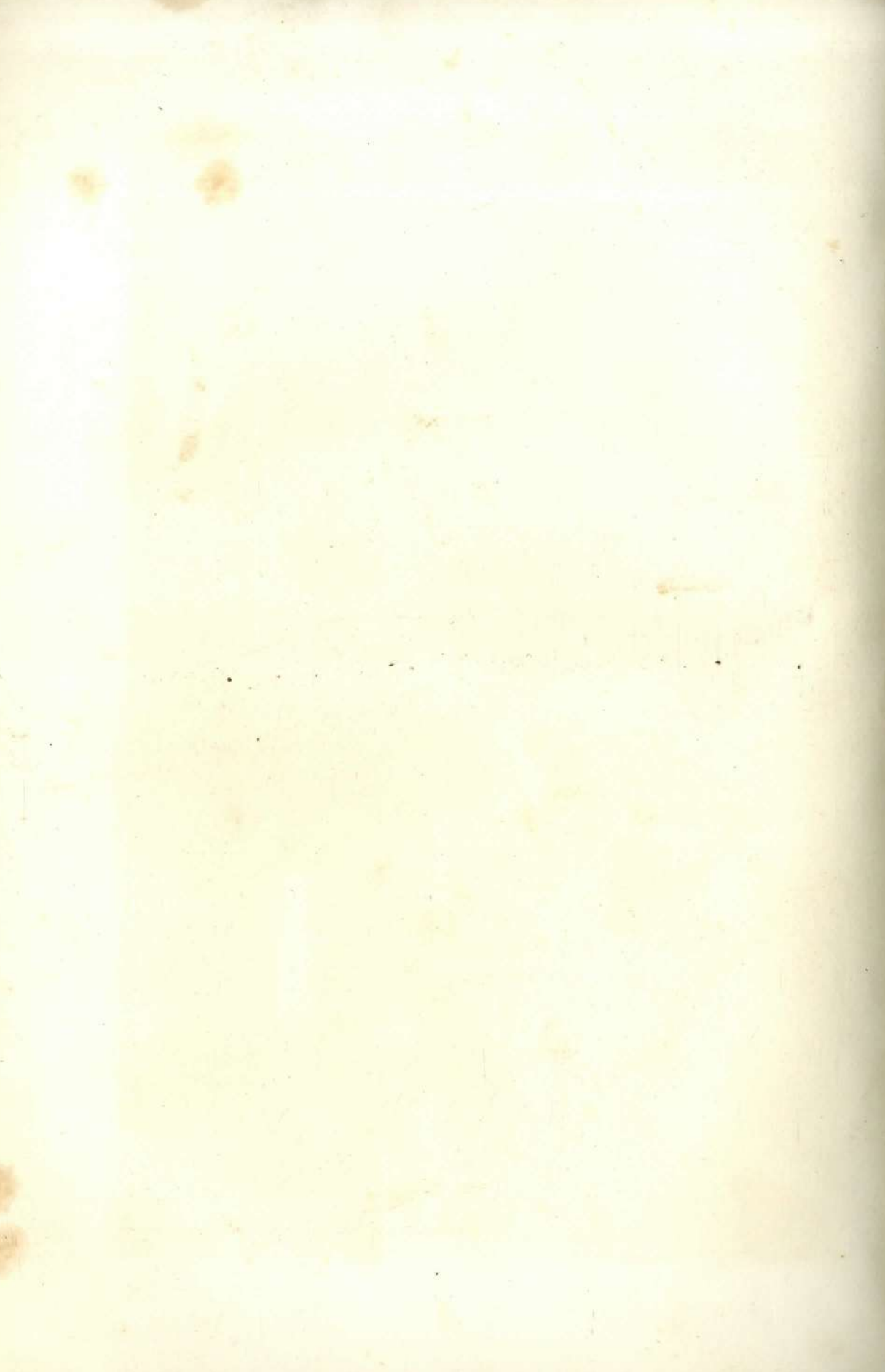
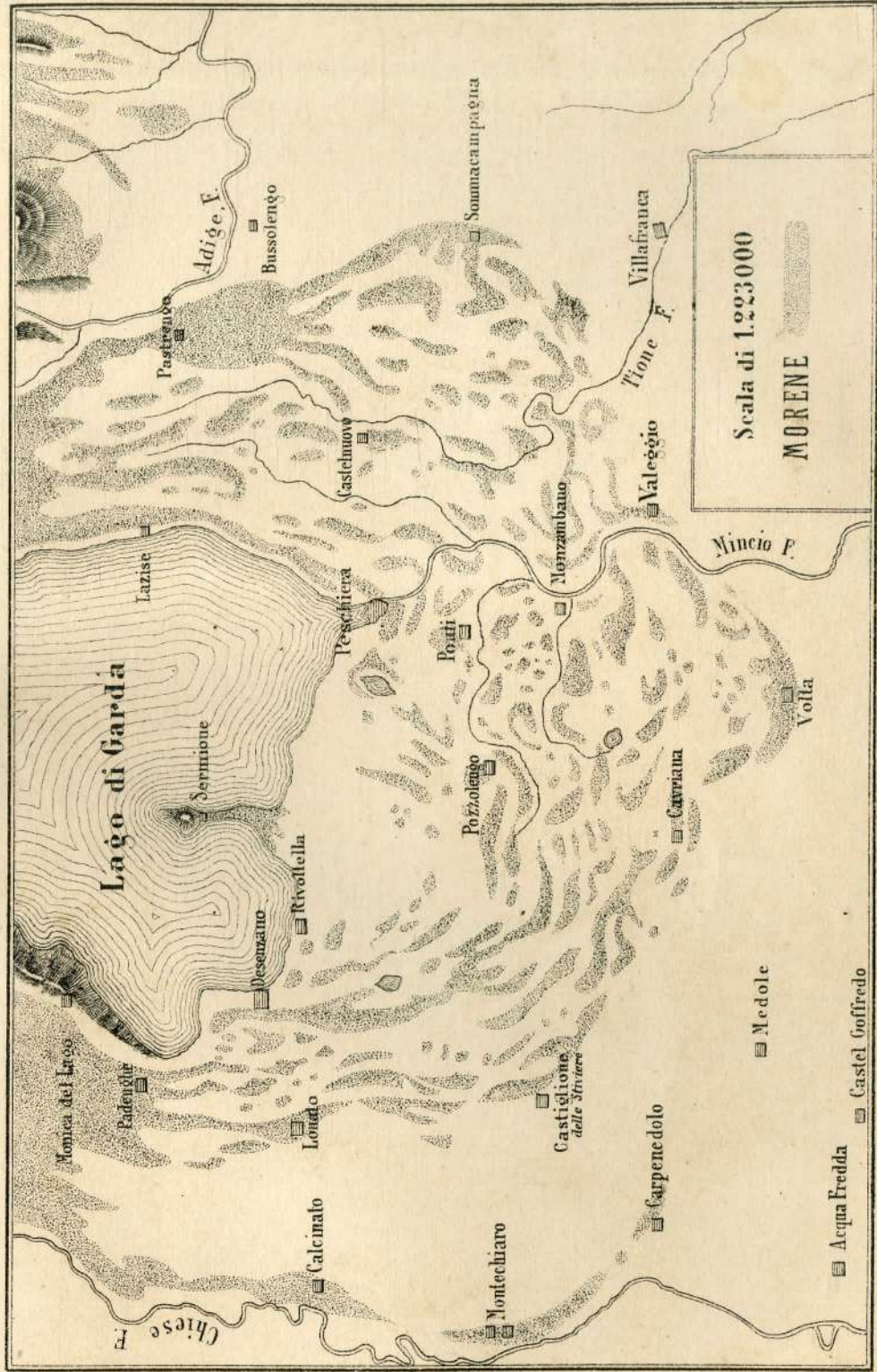
Fig. I. GHIACCIAJO DELLA FORBICETTA (M. DELLA DISGRAZIA)

Fig. II. GHIACCIAI DEL MONTE CRISTALLO.

GHIACCIAJO DEL FORNO SOPRA S. CATTERINA IN VAL-FURVA

CHIACCIAJO DELLA MARMOLADE NELL'ALTO CORDEVOLE

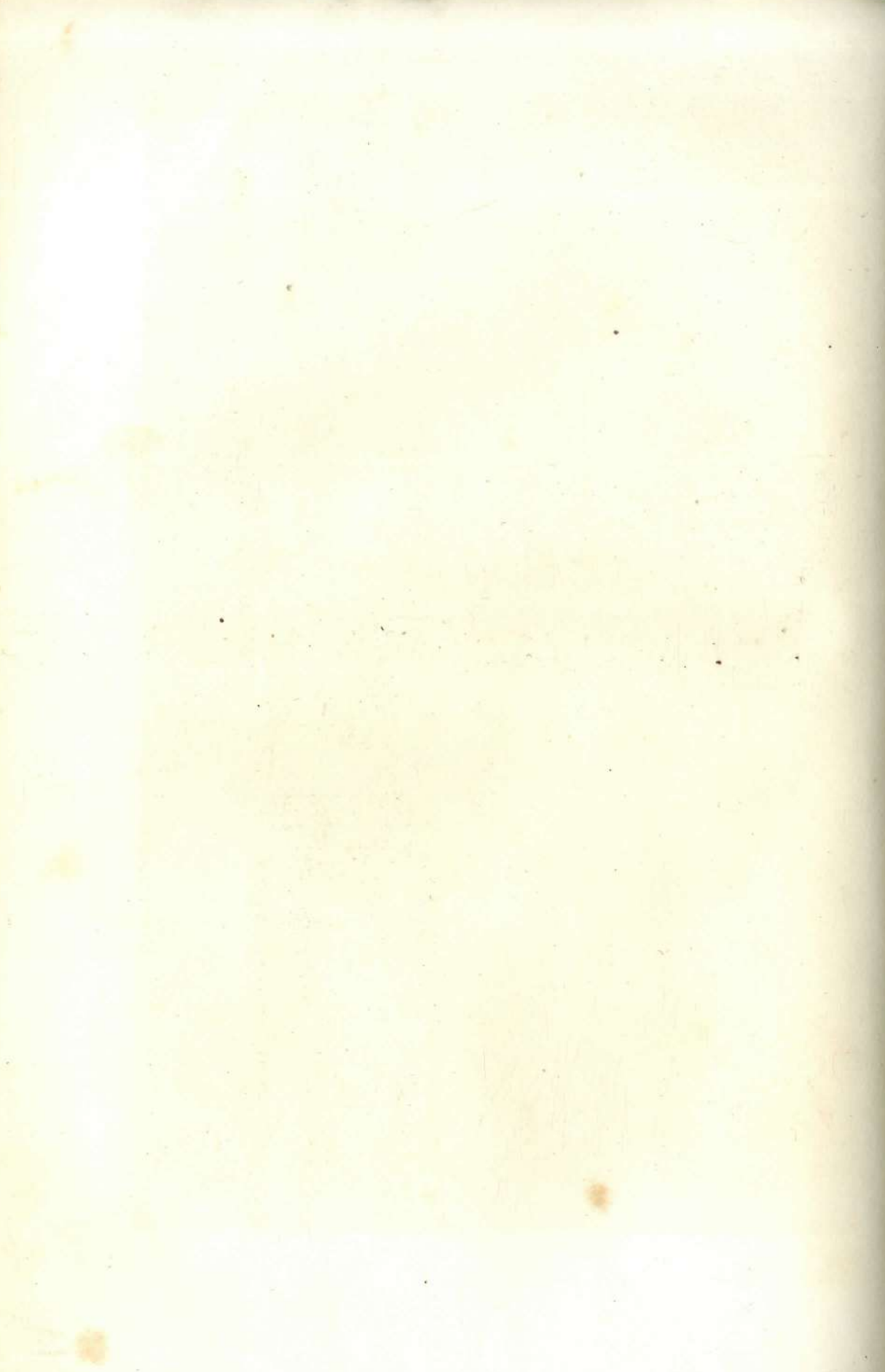
MORENA LATERALE TRA IL PONTE DI LECCO E MALGRATE

MASSO ERRATICO DI SERPENTINO SOPRA CIVATE

CATENA DI COLLI ARROTONDATI TRA MONTOLIMPINO E IL CASTELLO BARADELLO

ANFITEATRO MORENICO DELLA DORA RIPARIA

Lago d'Orta
Orta
Sovazza
Lesa
Arolo
Maggiore
Lago
M.S. Quirico
Angera
Arona
Oleggio Castº
Gozzano
Agagna F.
Borgomanero
Borgo Ticino
Castelletto
Ticino F.
Sesto Calende
Gola Secca
Vergiate
Strona F.
Somma
L. di Monate
L. di Comabbio
L. di Varese
Gavirate

Scala di 1.172,800

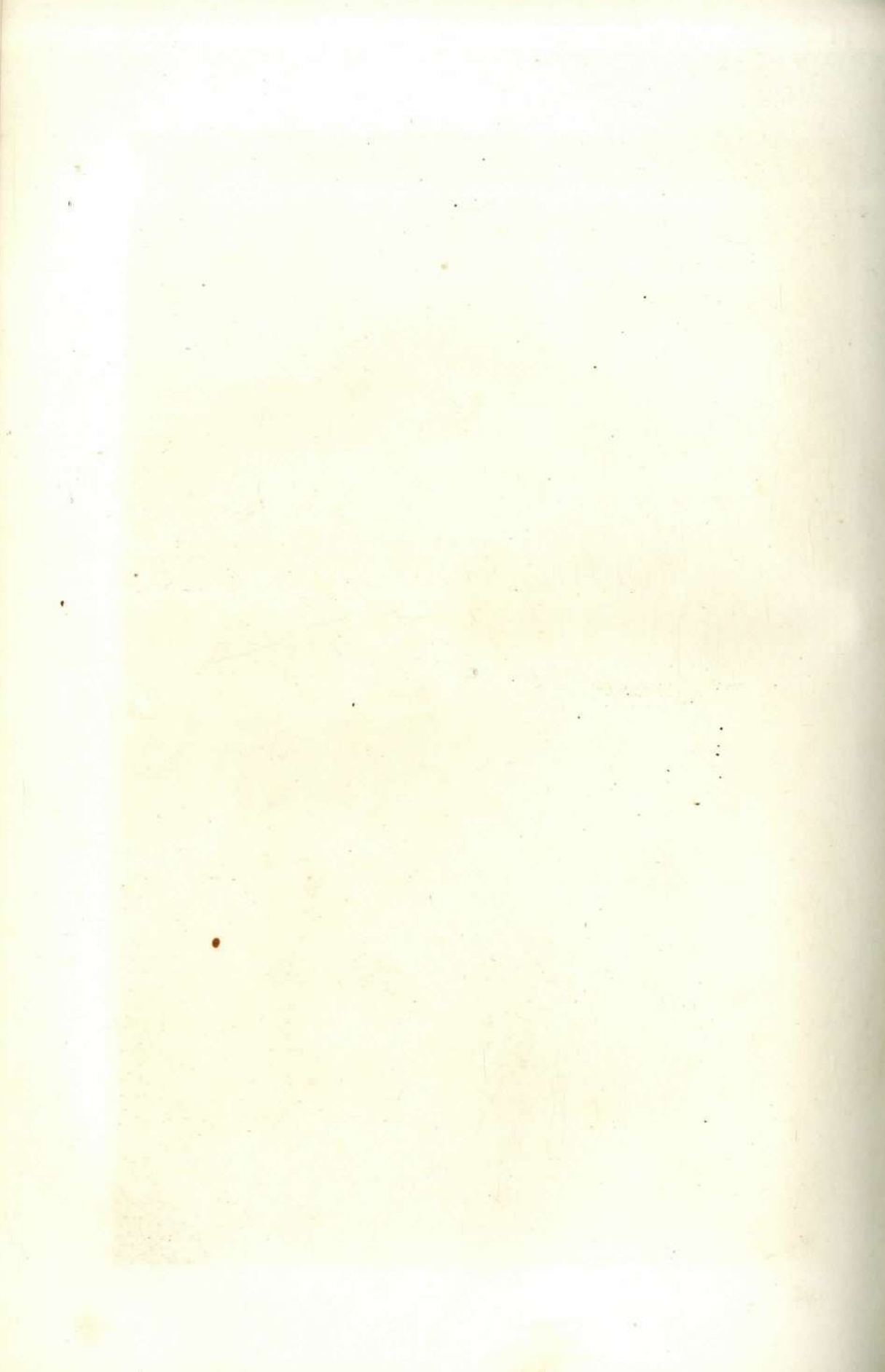
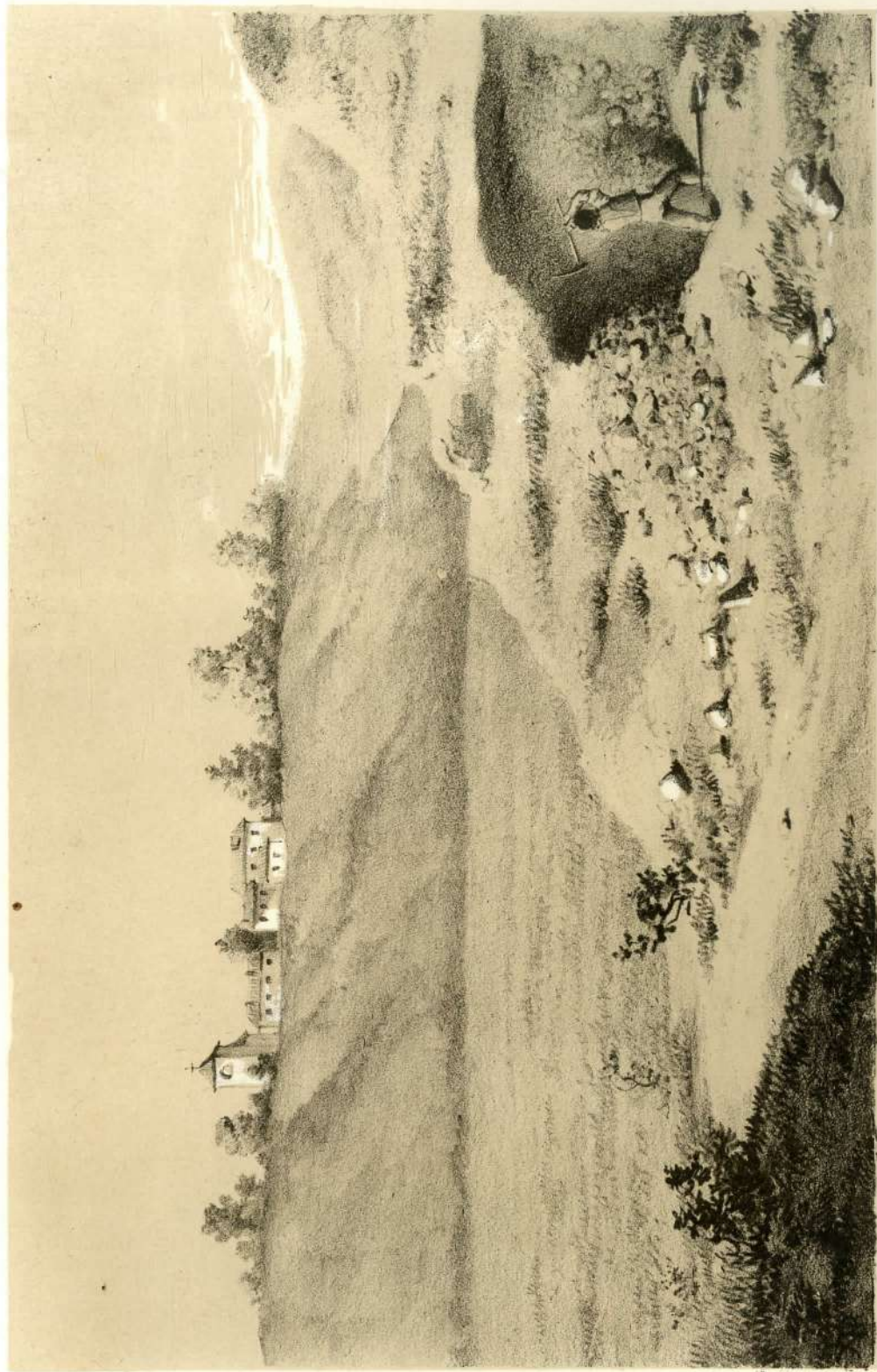
TERRENO MORENICO

Carta dell'Anfiteatro Morenico del Lago Maggiore

ANFITEATRO MORENICO DELL ANTICO CHIACCIAJO DEL LAGO DI COMO. VISTO DAL MONTE GOI.

Carta dell'Anfiteatro Morenico del Lago di Como

ANFITEATRO MORENICO DEL RAMO OCCIDENTALE DEL GHIACCIAJO DEL LAGO D'ISEO

Carta dell'Anfiteatro Morenico, del Lago di Garda.

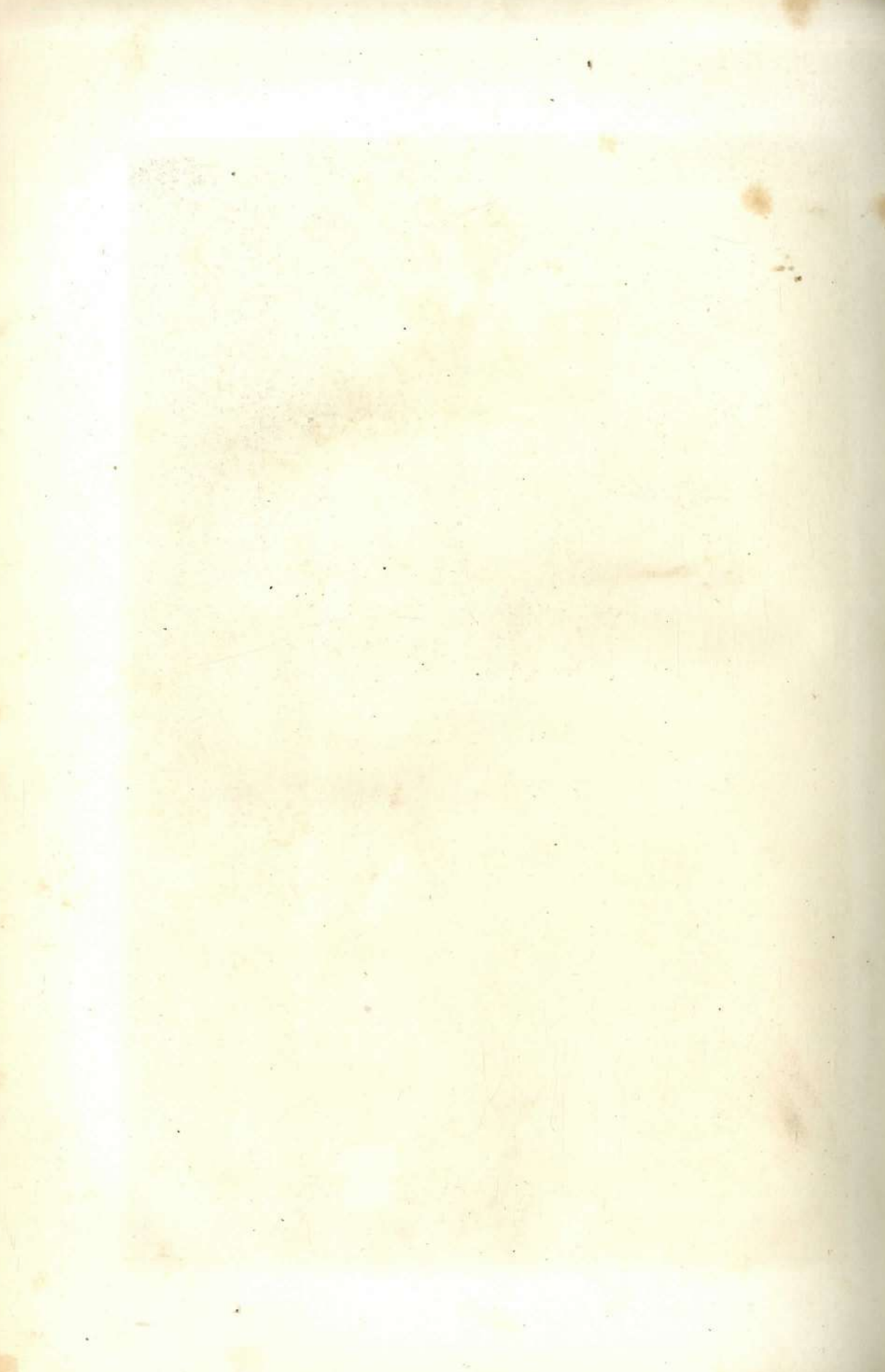
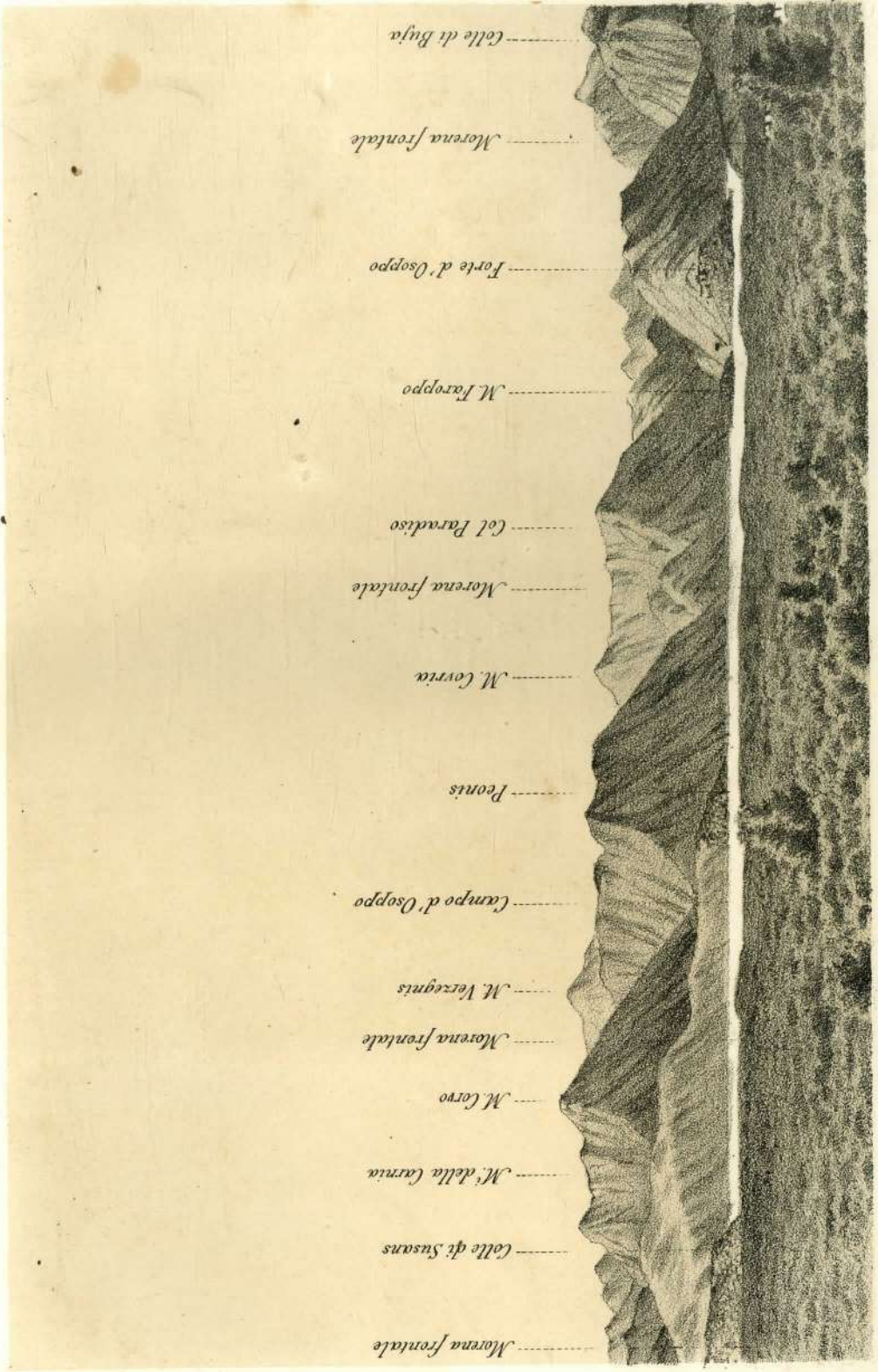
GARDA – VEDUTA DELL' ESTREMITÀ EST DELL' ANFITEATRO MORENICO.

Osoppo
T. Ledra
F. Tagliamento
Collalto
Tarcinta
Colloreda
T. Corno
Qualso
T. Cormar
Trigesimo
Borgo di Sacco
Spilimbergo
Carpacco

Scala di 1.172.800

MORENE

Carta dell'Anfiteatro Morenico, del Tagliamento

COLLI ARROTONDATI SOPRA CLUSONE.

TERRENO MORENICO CON FOSSILI MARINI PRESSO CASSINA RIZZARDI.

CAVA NEL TERRENO GLACIALE AL PONTE DI LECCO SOTTO IL M. BARO.

ANFITEATRO MORENICO DEL TAGLIAMENTO GUARDATO DALL' ESTERNO

L'ITALIA

SOTTO L'ASPETTO

FISICO, STORICO, LETTERARIO, ARTISTICO E STATISTICO

CON SPECIALE RIGUARDO ALL'INDUSTRIA ED AL COMMERCIO

OPERA DIVISA IN TRE PARTI

PARTE PRIMA

IL DIZIONARIO COROGRAFICO
illustrato da 1031 incisioni
rappresentanti i monumenti più insigni e gli stemmi coloriti
dei principali Comuni d'Italia
COMPILATO DAL
PROF. AMATO AMATI
COL CONCORSO DI PARECCHI DOTTI

GLI ARTICOLI COROGRAFICI
sono riveduti o collaborati
DALLE RAPPRESENTANZE COMUNALI
GLI STEMMI
approvati o comunicati dalle medesime

PARTE SECONDA

I TRATTATI SCIENTIFICI SULL'ITALIA
la Geologia, l'Oro-idrografia,
la Flora, la Fauna, la Storia politica,
la Storia letteraria,
la Storia e critica delle arti del disegno, ecc.,
in singoli trattati

Autori i Signori Professori
Bartoli, Bertolini, Canestrini, Canello, Cesati,
Cipolla, Cornalia, Cosci, De-Betta, De-Bartolomeis,
De Castro jun., D'Ovidio, Franchetti, Gibelli,
Invernizzi, Lanzani, Mercalli,
Morsolin, Negri, Paravicini, Passerini, Salvadori, Selvatico,
Stoppani, Tamagni, Villari, Zanella, ecc.

PARTE TERZA

L'ATLANTE GEOGRAFICO, TOPOGRAFICO, IDROGRAFICO, GEOLOGICO E STORICO
DI CIRCA 150 CARTE INCISE IN RAME
CON UNA GRAN CARTA GEOGRAFICA D'ITALIA IN 15 FOGLI
DIRETTO DAI COMPILATORI DEL TESTO

DEDICATA

A SUA MAESTÀ VITTORIO EMANUELE II, RE D'ITALIA

E PREMIATA CON MEDAGLIE D'ARGENTO
dal Giurì internazionale all'Esposizione mondiale nel 1873 in Vienna,
DAL QUINTO CONGRESSO PEDAGOGICO ITALIANO DI GENOVA DEL 1868,
dal Giurì dell'Esposizione Industriale di Milano del 1871,
dal Giurì dell'Esposizione universale di Parigi nel 1878, dal Giurì dell'Esposizione tipografica in Milano 1879
E DA
S. M. I. AUSTRO-UNGARICA
colla medaglia d'oro pro literis et artibus nel 1869

MILANO
DOTTOR FRANCESCO VALLARDI, EDITORE
Via Disciplini 15

1880